

• DIALOG(R) File 351: DERWENT WPI  
(c) 2000 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

011918684     \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 98-335594/199830

KRPX Acc No: N98-261913

• **Projection exposure apparatus for manufacture of semiconductor devices such as LSIs - has pair of transparent spherical surface members having their surfaces opposed to each other, with optical characteristics adjustable, and includes axial astigmatism**

Patent Assignee: CANON KK (CANO )

Inventor: SUZUKI A

Number of Countries: 026    Number of Patents: 003

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Main IPC	Week
EP 851304	A2	19980701	EP 97310579	A	19971224	G03F-007/20	199830 B
JP 10242048	A	19980911	JP 97368968	A	19971227	H01L-021/027	199847
KR 98064731	A	19981007	KR 9774864	A	19971227	H01L-021/027	199949

Priority Applications (No Type Date): JP 96357746 A 19961228

Patent Details:

Patent	Kind	Lan	Pg	Filing	Notes	Application	Patent
--------	------	-----	----	--------	-------	-------------	--------

EP 851304	A2	E	48				
-----------	----	---	----	--	--	--	--

Designated States (Regional): AL AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI

LT LU LV MC MK NL PT RO SE SI

JP 10242048	A		40				
-------------	---	--	----	--	--	--	--

Abstract (Basic): EP 851304 A

The apparatus comprises a pair of transparent aspherical surface members disposed in a portion of a projection path of the projection optical system (2) and has aspherical surfaces opposed to each other. One of the paired aspherical surface members is movable in a direction crossing the projection path to cause a change in surface shape as represented by a difference between the aspherical surfaces of the paired aspherical surface members, causing a change in optical characteristic of the apparatus.

The optical characteristic includes axial astigmatism.

The shapes of the aspherical surfaces of the paired aspherical surface members, when expressed in equation, includes a third order term of x where the movement is in a direction of x.

The paired aspherical surface members are relatively movable in opposite directions along a direction crossing the projection path, to produce a change in surface shape as represented by a difference between the aspherical surfaces of them.

USE - For projecting pattern of mask on to substrate to expose substrate with mask pattern.

ADVANTAGE - Provides improved projection exposure, and optical characteristics can be adjusted.

Dwg.1/31

Title Terms: PROJECT; EXPOSE; APPARATUS; MANUFACTURE; SEMICONDUCTOR; DEVICE  
; PAIR; TRANSPARENT; SPHERE; SURFACE; MEMBER; SURFACE; OPPOSED; OPTICAL;  
CHARACTERISTIC; ADJUST; AXIS; ASTIGMATIC

Derwent Class: P84; U11; U13; U14

International Patent Class (Main): G03F-007/20; H01L-021/027

File Segment: EPI; EngPI

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-242048

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月11日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 6 A

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数137 F D (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願平9-368968

(22) 出願日 平成9年(1997)12月27日

(31) 優先権主張番号 特願平8-357746

(32) 優先日 平8(1996)12月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 鈴木 章義

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

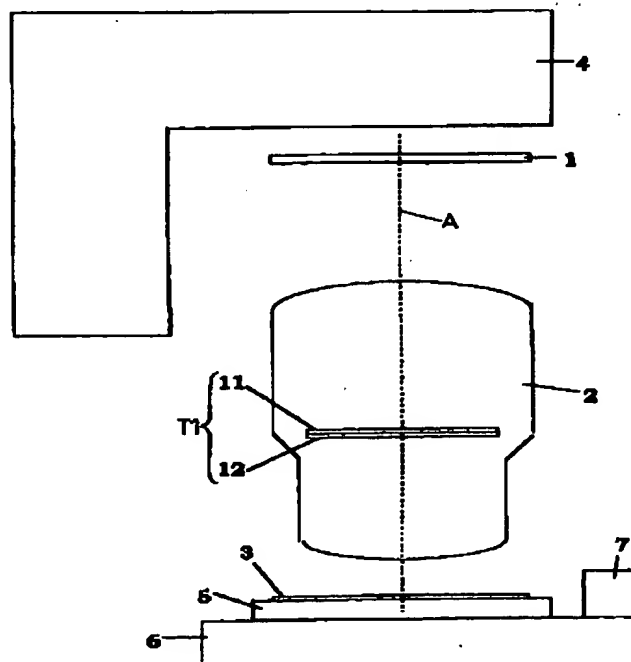
(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 投影露光装置及びデバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 投影光学系の露光光の吸収によって変化する光学性能を非球面を有した光学素子を利用して補正し、高解像度のパターンが得られる投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法を得ること。

【解決手段】 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の軸上非点収差を制御していること。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該1対の光学素子の相対位置を変えて該投影系の軸上非点収差を制御していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記1対の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項3】 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向を $x$ 軸としたとき、該非球面の形状は少なくとも $x$ の3次の項を持つことを特徴とする請求項2の投影露光装置。

【請求項4】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項3の投影露光装置。

【請求項5】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していることを特徴とする請求項3の投影露光装置。

【請求項6】 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面の形状を $f(x, y)$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ を定数としたとき、該非球面の形状 $f(x, y)$ は $f(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ で表わされることを特徴とする請求項3の投影露光装置。

【請求項7】 前記形状 $f(x, y)$ において $b=0$ であり、定数 $a$ と定数 $c$ は逆符号であることを特徴とする請求項6の投影露光装置。

【請求項8】 前記マスクの有効領域は4角形状をしており、該4角形状の一辺が前記 $x$ 軸と平行となっていることを特徴とする請求項3の投影露光装置。

【請求項9】 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記 $x$ 軸と平行となっていることを特徴とする請求項3の投影露光装置。

【請求項10】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項2の投影露光装置。

【請求項11】 前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項12】 前記光学手段が前記投影光学系と前記

基板との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項13】 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項14】 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、複数個設け、該同一形状の非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の軸上非点収差と像面湾曲を制御していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項15】 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項14の投影露光装置。

【請求項16】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子は、それに施されている非球面を前記投影光学系の光軸に対して直交方向に駆動させて制御するパラメータの方向が互いに直交していることを特徴とする請求項15の投影露光装置。

【請求項17】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が互いに直交する方向となるように駆動していることを特徴とする請求項16の投影露光装置。

【請求項18】 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向を $s$ 軸としたとき、該非球面の形状は少なくとも $s$ の3次の項を持つことを特徴とする請求項17の投影露光装置。

【請求項19】 前記光学手段を駆動したことによる前記投影光学系の光学性能の変化を補正していることを特徴とする請求項14の投影露光装置。

【請求項20】 前記マスクの有効領域は4角形状をしており、該4角形状の一辺が前記光学素子の駆動方向と平行となっていることを特徴とする請求項15の投影露光装置。

【請求項21】 前記光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取ったとき、前記複数の光学素子のうち1つは $x$ 方向に駆動可能であり、他の1つは $y$ 方向に駆動可能であり、該駆動によって $x$ 方向と $y$ 方向で発生させるパワーの量を調整して、前記投影系の像面湾曲と軸上非点収差の少なくとも一方を補正していることを特徴とする請求項14の投影露光装置。

【請求項22】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項18の投影露光装置。

【請求項23】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動

を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していることを特徴とする請求項18の投影露光装置。

【請求項24】 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記x軸と平行となっていることを特徴とする請求項15の投影露光装置。

【請求項25】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項15の投影露光装置。

【請求項26】 前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴とする請求項14の投影露光装置。

【請求項27】 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項14の投影露光装置。

【請求項28】 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の倍率を制御していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項29】 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項28の投影露光装置。

【請求項30】 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交するx、y軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向をx軸としたとき、該非球面の形状は少なくともxの3次の項を持つことを特徴とする請求項29の投影露光装置。

【請求項31】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系に付随する位置合わせセンサーからの情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項30の投影露光装置。

【請求項32】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を入力したデータに基づいて制御していることを特徴とする請求項30の投影露光装置。

【請求項33】 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面の形状を $f(x, y)$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ を定数としたとき、該非球面の形状 $f(x, y)$ は $f(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ で表わされることを特徴とする請求項30の投影露光装置。

【請求項34】 前記形状 $f(x, y)$ において $b=0$ であり、定数 $a$ と定数 $c$ は逆符号であることを特徴とする請求項33の投影露光装置。

【請求項35】 前記マスクの有効領域は4角形状をし

ており、該4角形状の一边が前記x軸と平行となっていることを特徴とする請求項30の投影露光装置。

【請求項36】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子は、それに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項29の投影露光装置。

【請求項37】 前記光学手段が前記投影光学系と前記第2物体との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項28の投影露光装置。

【請求項38】 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項28の投影露光装置。

【請求項39】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項30の投影露光装置。

【請求項40】 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の像面湾曲を制御していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項41】 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項40の投影露光装置。

【請求項42】 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交するx、y軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向をx軸としたとき、該非球面の形状は少なくともxの3次の項を持つことを特徴とする請求項41の投影露光装置。

【請求項43】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項42の投影露光装置。

【請求項44】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していることを特徴とする請求項42の投影露光装置。

【請求項45】 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面の形状を $f(x, y)$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ を定数としたとき、該非球面の形状 $f(x, y)$ は $f(x, y) = a(3xy^2 + x^3) + b(2xy + x^2) + cx + d$ で表わされることを特徴とする請求項42の投影露光装置。

【請求項46】 前記形状 $f(x, y)$ において $b=0$

であり、定数aと定数cは逆符号であることを特徴とする請求項45の投影露光装置。

【請求項47】 前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴とする請求項40の投影露光装置。

【請求項48】 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項40の投影露光装置。

【請求項49】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子は、それに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項41の投影露光装置。

【請求項50】 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の光学特性を制御していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項51】 前記投影系は複数の光学手段を有し、該複数の光学手段はそれらが有する光学素子に施されている非球面形状が互いに異なっていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項52】 前記複数の光学手段によって前記投影系の軸上非点収差、非対称な倍率、そして像面湾曲のうちの少なくとも2つを制御していることを特徴とする請求項51の投影露光装置。

【請求項53】 前記投影系は軸上非点収差を制御する機能を有する光学手段、回転非対称な倍率を制御する機能を有する光学手段、そして像面湾曲を制御する機能を有する光学手段のうちの少なくとも2つの光学手段を有し、該少なくとも2つの光学手段は各々独立又は合体して光路中に配置されていることを特徴とする請求項50又は51の投影露光装置。

【請求項54】 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記x軸と平行となっていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項55】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項56】 前記光学素子のずらし方向をxとしたとき、前記非球面は式 $=ax^n$ （aは係数、nは整数）という形状で表わされることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項57】 前記光学特性が像面の傾き、像面湾曲、軸上非点収差、低次及び高次のディストーションの

何れかであることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項58】 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項59】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項58の投影露光装置。

【請求項60】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していることを特徴とする請求項58の投影露光装置。

【請求項61】 前記マスクの有効領域は4角形状をしており、該4角形状の一辺が前記x軸と平行となっていることを特徴とする請求項58の投影露光装置。

【請求項62】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項58の投影露光装置。

【請求項63】 前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項64】 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項65】 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項66】 前記光学素子のずらし方向をx、それと直交する方向をYとしたとき、前記非球面は式 $a(x^n + nxy^{n-1})$ という形状で表わされることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項67】 前記光学特性が像面の傾き、像面湾曲、軸上非点収差、低次及び高次のディストーションの何れかであることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項68】 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項69】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項68の投影露光装置。

【請求項70】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御し

ていることを特徴とする請求項68の投影露光装置。

【請求項71】 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記 $x$ 軸と平行となっていることを特徴とする請求項68の投影露光装置。

【請求項72】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項68の投影露光装置。

【請求項73】 前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項74】 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項75】 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項50の投影露光装置。

【請求項76】 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、倍率及び3次のディストーション補正機能を持っている投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の高次のディストーションを制御していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項77】 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項76の投影露光装置。

【請求項78】 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向を $x$ 軸としたとき、該非球面の形状は少なくとも $x$ の7次以上の項を持つことを特徴とする請求項77の投影露光装置。

【請求項79】 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項76の投影露光装置。

【請求項80】 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項76の投影露光装置。

【請求項81】 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記 $x$ 軸と平行となっていることを特徴とする請求項76の投影露光装置。

【請求項82】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで

逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項76の投影露光装置。

【請求項83】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項76の投影露光装置。

【請求項84】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していることを特徴とする請求項76の投影露光装置。

10 【請求項85】 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、倍率及び3次のディストーション補正機能を持っている投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の走査方向と直交する方向の高次のディストーションを制御していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項86】 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交し、更に走査方向と直交する方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項87の投影露光装置。

【請求項87】 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向を $x$ 軸としたとき、該非球面の形状は少なくとも $x$ の7次以上の項を持つことを特徴とする請求項86の投影露光装置。

【請求項88】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影露光装置に入力されている情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項85の投影露光装置。

【請求項89】 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影露光装置に付随する位置合わせセンサの計測した値に基づいて制御していることを特徴とする請求項85の投影露光装置。

【請求項90】 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項85の投影露光装置。

【請求項91】 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項85の投影露光装置。

【請求項92】 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記 $x$ 軸と平行となっていることを特徴とする請求項85の投影露光装置。

【請求項93】 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項85の投影露光装置。

【請求項94】互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の3次のディストーションを制御していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項95】前記投影光学系は倍率の制御機能を備えていることを特徴とする請求項94の投影露光装置。

【請求項96】前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項94の投影露光装置。

【請求項97】前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向を $x$ 軸としたとき、該非球面の形状は少なくとも $x$ の3次の項を持つことを特徴とする請求項96の投影露光装置。

【請求項98】前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系に付随する位置合わせセンサーからの情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項97の投影露光装置。

【請求項99】前記少なくとも1つの光学素子の駆動を入力したデータに基づいて制御していることを特徴とする請求項97の投影露光装置。

【請求項100】前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面の形状を $f(x, y)$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$ を定数としたとき、該非球面の形状 $f(x, y)$ は
$$f(x, y) = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f$$

で表わされることを特徴とする請求項97の投影露光装置。

【請求項101】前記形状 $f(x, y)$ において $b=0$ であり、定数 $a$ と定数 $c$ は逆符号であることを特徴とする請求項100の投影露光装置。

【請求項102】前記マスクの有効領域は4角形状をしており、該4角形状の一辺が前記 $x$ 軸と平行となっていることを特徴とする請求項97の投影露光装置。

【請求項103】前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子は、それに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴とする請求項96の投影露光装置。

【請求項104】前記光学手段が前記投影光学系と前記第2物体との間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項96の投影露光装置。

【請求項105】前記光学手段が前記第1物体と前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴

とする請求項96の投影露光装置。

【請求項106】前記非球面の形状 $f(x, y)$ は $a$ を定数としたとき

$$f(x, y) = a(x^5 + 5 \times y^4)$$

で表わされることを特徴とする請求項94の投影露光装置。

【請求項107】投影光学系を有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光方法において、互いに同一又は異なった形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段を光路中に設け、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の高次のディストーションを制御していることを特徴とする投影露光方法。

【請求項108】投影光学系を有する投影系によりマスク面上のスリット状に照明されたパターンを基板面上に該マスクと基板とを相対的に走査しながら投影露光する投影露光方法において、互いに同一又は異なった形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段を光路中に設け、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の走査方向と直交する方向の高次のディストーションを制御していることを特徴とする投影露光方法。

【請求項109】前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影露光装置に付随する位置合わせセンサーの計測した値に基づいて制御していることを特徴とする請求項108の投影露光方法。

【請求項110】前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影露光装置に入力されている情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項108の投影露光方法。

【請求項111】請求項1から93のいずれか1項に記載の投影露光装置を用いてレチクル面上のパターンを投影系でウエハー面上に投影露光し、その後ウエハーを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【請求項112】請求項107から110のいずれか1項に記載の投影露光方法を用いてレチクル面上のパターンを投影系でウエハー面上に投影露光し、その後ウエハーを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【請求項113】マスクのパターンを基板上に投影する投影光学系と、投影光路中に供給される、それぞれの非球面同士が向かい合っている一対の透明な非球面部材、とを有し、該一対の非球面部材の一方が該投影光路を横切る方向に移動可能であり、この非球面部材の移動によって該一対の非球面部材の非球面間の差分が示す面形状が変化することによりマスクのパターンを基板上に投影するときの光学特性が変化するようにしていることを特徴とする投影露光装置。

【請求項114】前記光学特性は軸上非点収差を含む



## 11

ことを特徴とする請求項113の投影露光装置。

【請求項115】 前記一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、前記移動の方向をx方向と仮定して、式で表わした時にxの3次の項を含むことを特徴とする請求項114の投影露光装置。

【請求項116】 前記一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴とする請求項114の投影露光装置。

【請求項117】 前記マスクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記x方向は前記走査の方向と直交していることを特徴とする請求項115の投影露光装置。

【請求項118】 前記光学特性は像面湾曲を含むことを特徴とする請求項113の投影露光装置。

【請求項119】 前記一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、前記移動の方向をx方向と仮定して、式で表わした時にxの3次の項を含み、又前記光学特性は該x方向に関する前記像面湾曲を含むことを特徴とする請求項118の投影露光装置。

【請求項120】 前記一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴とする請求項118の投影露光装置。

【請求項121】 前記マスクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記x方向は前記走査の方向と直交していることを特徴とする請求項119の投影露光装置。

【請求項122】 前記光学特性は投影倍率を含むことを特徴とする請求項113の投影露光装置。

【請求項123】 前記一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、前記移動の方向をx方向と仮定して、式で表わした時にxの3次の項を含み、又前記光学特性は該x方向に関する前記投影倍率を含むことを特徴とする請求項122の投影露光装置。

【請求項124】 前記一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴とする請求項122の投影露光装置。

【請求項125】 前記マスクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記x方向は前記走査の方向と直交していることを特徴とする請求項123の投影露光装置。

【請求項126】 前記光学特性は歪曲を含むことを特徴とする請求項113の投影露光装置。

【請求項127】 前記一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、前記移動の方向をx方向と仮定して、式で表わした時にxの5次の項を含むことを特徴とする請求項126の投影露光装置。

【請求項128】 前記一对の非球面部材の夫々の非球

## 12

面の形状は、前記移動の方向をx方向と仮定して、式で表わした時にxの7次の項を含むことを特徴とする請求項126の投影露光装置。

【請求項129】 前記一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴とする請求項126の投影露光装置。

【請求項130】 前記マスクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記x方向は前記走査の方向と直交していることを特徴とする請求項127の投影露光装置。

【請求項131】 前記マスクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記x方向は前記走査の方向と直交していることを特徴とする請求項128の投影露光装置。

【請求項132】 前記投影光路中に、更に、夫々の非球面同士が向かい合っている第2の一对の透明な非球面部材を有し、該第2の一对の非球面部材の一方が前記投影光路を横切る方向であって且つ前記x方向に直交するy方向に移動可能であり、この非球面部材の移動によって該一对の非球面部材の非球面間の差分が示す面形状が変化することにより前記マスクのパターンを基板上に投影するときの前記y方向に関する像面湾曲が変化しており、前記第2の一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、式で表わした時にyの3次の項を含むことを特徴とする請求項119の投影露光装置。

【請求項133】 前記2組の一对の非球面部材を用いて前記マスクのパターンを基板上に投影するときの像面湾曲と軸上非点収差を調整することを特徴とする請求項132の投影露光装置。

【請求項134】 前記第2の一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴とする請求項132の投影露光装置。

【請求項135】 前記2組の一对の非球面部材の夫々が、互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴とする請求項132の投影露光装置。

【請求項136】 前記2組の一对の非球面部材の一方の部材が、各組共通の両面が非球面の1つの部材であることを特徴とする請求項132の投影露光装置。

【請求項137】 請求項113から136の何れか1項記載の投影露光装置によってデバイスパターンを基板上に転写する段階を含むことを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は投影露光装置及びデバイスの製造方法に関し、例えばICやLSI等の半導



体デバイスやCCD等の撮像デバイスや液晶パネル等の表示デバイスや磁気ヘッド等のデバイスを製造する際に、マスクやレチクル（以下「レチクル」と総称する。）面上の電子回路パターンをウエハ面上に投影光学系を介して投影露光又は走査露光し、高集積度のデバイスを得るリソグラフィ工程に好適なものである。

【0002】特にレチクルとウエハとを高精度に位置合わせ（アライメント）をしてレチクル面上の電子回路パターンを高集積度にシリコンウエハ面上に投影露光する場合に好適なものである。

【0003】

【従来の技術】従来より、半導体デバイスや液晶パネル等をフォトリソグラフィ技術を用いて製造する際には、レチクル面上のパターンを投影光学系を介してフォトレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の感光基板上に露光転写する投影露光装置（ステッパー）が使用されている。

【0004】特に最近の半導体技術は微細化が進んでおり、例えば線幅が0.25 $\mu$ mから更に細かなパターンまでの解像が議論の対象となっている。この中で中心的役割を果たしている技術がステッパーに代表される光露光技術である。光露光技術の性能の指標となる投影レンズ（投影光学系）の性能には大きく分けて3つの方向性がある。すなわち短波長化、大画面化、そして高NA化である。短波長の観点では次世代技術としてArFエキシマレーザからの光を用いたリソグラフィの開発も盛んに行われている。

【0005】光露光技術で重要な項目の1つに常に同一の光学性能を保つという項目がある。ArFエキシマレーザからのリソグラフィでは、使用できる硝材に光の吸収があり、その光の吸収によって投影光学系の光学性能が変化することが知られている。光の吸収については既にi線等の光を用いたリソグラフィでも知られている。ArFエキシマレーザを用いたステッパーでは投影光学系の焦点深度が小さくなるため、光学性能を従来より高精度に制御することが必要とされている。このような光学性能の制御の中に投影光学系の諸収差がある。この諸収差の中で補正が最も困難な収差に軸上非点収差や像面湾曲、そして3次のディストーションや高次のディストーションがある。そして更に対象物自体の持つ非回転対称な倍率の補正も新たに問題となる。

【0006】次に軸上非点収差について例をあげて説明する。ウエハ面上の露光する領域を大きくするために最近では照明領域をスリット形状とし、該スリット形状に対しレチクルとウエハを同期させながら走査するスキャナと呼ばれる走査型の投影露光装置の開発が盛んである。このようなスリット形状の露光光を用いるとスリットの形状が回転対称でない為、硝材の光吸収により光軸に関して非対称な熱分布が生じ投影光学系に非点収差（軸上非点収差）が発生してくる。

【0007】しかしながら従来の投影露光装置で用いている投影光学系には露光光の吸収による非対称な諸収差の発生を該投影光学系の光学性能を変化させて補正する手段が適用されておらず、露光光の吸収の影響による非対称の非点収差については有効に補正することができなかった。このため従来は投影光学系に入射する露光光の量を制限して、諸収差の発生を少なくする等消極的な対策が取られていたに過ぎなかった。

【0008】次に像面湾曲について説明する。投影光学系が露光光を吸収し、それによって生じる像面湾曲の変化を補正する方法としては、像面湾曲がベッツバル和に関係するためレンズやミラー等の光学素子のパワー（屈折力）を変える方法が知られている。しかしながら従来より屈折力を可変とした光学素子を投影露光装置の投影光学系に適用することがなされておらず、露光光の吸収の影響を有効に補正することができなかった。このため従来は投影光学系に入射する露光光の量を制限して、諸収差の発生を少なくする等の消極的な対策が取られていたに過ぎなかった。

【0009】次に非回転対称の倍率について説明する。半導体素子を製造する為の光露光技術に求められているファクターとして高解像力化の他に何層にもわたって重ね合わされるパターン間相互の位置合わせ精度がある。

【0010】位置合わせの方法として一般によく用いられているのはグローバルアライメントと呼ばれる手法である。グローバルアライメントの誤差は大きくは焼き付けられる各ショット間相互の誤差であるインターショット成分と、各ショット内部の誤差であるイントラショット成分とに分けられる。最近画面サイズが大きくなりイントラショット成分の誤差をいかに小さく抑えるかが大きな問題となっている。実際のウエハではプロセスにより非対称な歪が発生する。

【0011】例えば22mmの画面サイズに対して非対称で補正できない成分として倍率で2ppmの誤差があれば

$$22\text{mm} \times 2\text{ppm} = 44\text{nm}$$

の誤差となり、線幅0.25 $\mu$ mの解像性能に対してこれだけで1/5x近くの値を持つことになる。重ね合わせのバジェットから見てこの値は許容外であることは明らかで、イントラショット成分を抑えていくのが光露光装置の大きな課題となっている。

【0012】ディストーションについては倍率と3次のディストーションを制御する方法については公知の手段がある。例えば投影光学系内の複数の素子を光軸方向に移動させる、光学素子間に封入されている気体の圧力を変えるなどの手法である。倍率は光学系の基本量なので他の収差に変動を与えずに変化させることが可能であるが、3次のディストーションの補正については移動に伴う収差の変化や、調整範囲が少ない等の問題があり、設計当初から補正を考慮した設計を行う必要がある。特

に昨今、変形照明法あるいは位相シフトマスクなどの像改良という名で総称される各種の結像法が採用されると、各結像法同士でのディストーションのマッチングが問題となる。この場合、設計に負荷をかけずに任意に3次のディストーションを制御する技術の確立が大きな課題である。

【0013】次に高次のディストーションについて説明する。走査型の投影露光装置では走査(スキャン)によって非対称な倍率差、例えば光軸に対して直交する方向にとられたx軸とy軸の倍率差を補正することができ

る。又、走査する方向については走査に伴う平均化効果でディストーションの平均化が行われている。例えばスリットがx方向に長く、走査がy軸方向に行われるとすると、走査した結果はy方向の倍率が走査の同期を制御することで調整され、所謂3次、5次といった光学的ディストーションはスリット内の平均化で小さい値に抑えられている。

【0014】しかしながら、x方向についての平均化はなされないの、光学的にディストーションを高精度に制御する必要がある。公知の技術で倍率、3次のディ

ストーションを補正した時に最も問題となるのが5次以上の高次ディストーションである。これを補正することは大きな課題といえる。

【0015】マスク面上のパターンをウエハ面上に投影する投影光学系内に残存する投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性を調整可能とした投影露光装置が特開平7-183190号公報で提案されている。

【0016】同公報では第1物体を照明する照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を所定の縮小倍率のもとで第2物体に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、前記第1物体と前記第2物体との間に、前記投影光学系の光軸に対して回転非対称なパワーを持つ光学手段を配置し、前記光学手段は、前記投影光学系に残存する前記投影光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性を補正するために、前記投影光学系の光軸を中心に回転可能または前記投影光学系の光軸に沿って移動可能に設けられる構成としている。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】投影光学系が露光光を吸収したことによる光学性能の変化を補正する方法が従来より最も簡単な露光に伴うフォーカス補正を含め種々となされている。しかしながら走査型の投影露光装置(スキャナー)の時代を迎えて新たに光軸に対して非対称な収差の発生が起こることが判明し、大きな問題点となろうとしている。これは照明光がスリット形状で光軸に対して非対称、即ちスリット形状の長い方向と短い方向で光の強度分布が異なるために起こる現象で、極端な場合には光軸上で縦線と横線のピント差が異なる軸上非点収差が発生する。露光負荷を大きくかけない場合には

ゼロであっても大きな露光負荷をかけると軸上非点収差が生じることは系の不安定性を意味し、スキャナーにとっては大きな課題となっている。

【0018】また、通常のステッパーや走査型の投影露光装置において投影光学系が露光光を吸収したことにより変化する光学性能の1つに像面湾曲がある。この像面湾曲の補正は前述したように、光学素子のパワーを変化させて補正する方法がある。しかしながら一般に光学素子のパワーを精度良く変化させて像面湾曲を良好に補正するのが大変難しいという課題があった。

【0019】又高解像力化を図るためにはレチクルとウエハとを高精度に位置合わせすることが必要である。しかしながら対象物体であるウエハに非対称な倍率差が発生すると位置合わせ精度が低下してくる。

【0020】位置合わせ精度の向上には倍率の制御が問題となるが、ステッパーで用いている投影光学系は構成上、光軸に対して回転対称な倍率補正機能しか持っていないのが通例である。しかしながら実際の半導体プロセスでは、焼き付けるパターンの方向性に従ってウエハ面上にxy座標をとったときx方向とy方向、即ち縦と横方向の工程毎の伸縮の倍率が異なる場合が存在し、総合的な位置合わせ精度の向上に制約を与えている。従って例えばx方向の伸びとy方向の伸びに2ppmの差があれば、上述に示したような補正残差が残ってしまうという課題があった。

【0021】又、走査型の投影露光装置では走査方向に対しては平均化という形でディストーションの値が改善されるものの、スキャン方向と直交する方向については平均化のメリットが得られないという欠点があった。特にディストーションについては倍率と3次のディストーションを制御する方法については公知の手段がある。

【0022】例えば投影光学系内の複数の光学素子を光軸方向に移動させる、光学素子間に封入されている気体の圧力を変えるなどの手法である。しかしながらこれら公知の方法で5次以上の高次のディストーションを補正することは困難であった。又、場合によっては3次のディストーションを補正するのも困難な場合がある。

【0023】特に昨今、変形照明法あるいは位相シフトマスクなどの像改良という名で総称される各種の結像法が採用されると、各結像法同士でのディストーションのマッチングが問題となる。この場合、最も問題となる要素は倍率と3次のディストーションが公知の手段で補正されたとするとxとy方向の倍率差と高次のディストーションであることが解析の結果明らかとなった。このうちxとyの倍率差はスキャン系の場合、容易に補正できるため、高次成分を如何に補正、制御できるかが問題である。

【0024】又特開平7-183190号公報で提案されている投影露光装置では回転非対称なパワーを持つ光学手段を駆動させると複数の収差が変動する為に対象と

10

20

30

40

50

する収差のみを補正することが難しいという問題点があった。

【0025】本発明は、投影系が露光光を吸収したことによる光学性能の変化、例えば軸上非点収差、像面湾曲、対称又は非対称な倍率、そしてディストーション等のうち少なくとも1つを適切に設定した形状の非球面を有する少なくとも2つの光学素子を有する光学手段を利用することによって、他の光学性能への影響を最小限に押えて補正し、高解像度のパターンが容易に得られる投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法の提供を目的とする。

【0026】この他本発明は、焼き付ける対称であるウエハーの各プロセスを得た後の伸縮の状態を補正するために適切に設定した形状の非球面を有する少なくとも2つの光学素子を有する光学手段を用いることによって投影系において非対称な補正、即ちx方向とy方向の倍率を独立に制御することを可能とすると共に、該制御に伴って起こる光学性能への影響を最小限に抑えた投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法の提供を目的とする。

【0027】

【課題を解決するための手段】本発明の投影露光装置は、

(1-1) 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該一对の光学素子の相対位置を変えて該投影系の軸上非点収差を制御していることを特徴としている。

【0028】特に、

(1-1-1) 前記一对の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0029】又、

(1-1-1-1) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交するx、y軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向をx軸としたとき、該非球面の形状は少なくともxの3次の項を持つこと。

【0030】(1-1-1-2) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していることを特徴とする請求項3の投影露光装置。

【0031】(1-1-1-3) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していること。

【0032】(1-1-1-4) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面の形状を $f(x, y)$ 、a、b、c、dを定数としたとき、該非球面の形状 $f(x, y)$ は

$f(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ で表わされること。

【0033】(1-1-1-5) 前記形状 $f(x, y)$ において $b=0$ であり、定数aと定数cは逆符号であること。

【0034】(1-1-1-6) 前記マスクの有効領域は4角形状をしており、該4角形状の一边が前記x軸と平行となっていること。

【0035】(1-1-1-7) 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記x軸と平行となっていること。

【0036】(1-1-1-8) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていること。等の特徴としている。

【0037】(1-1-2) 前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴としている。

【0038】(1-1-3) 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0039】(1-1-4) 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0040】(1-2) 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、複数個設け、該同一形状の非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の軸上非点収差と像面湾曲を制御していることを特徴としている。

【0041】特に、

(1-2-1) 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0042】又、

(1-2-1-1) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子は、それに施されている非球面を前記投影光学系の光軸に対して直交方向に駆動させて制御するパラメータの方向が互いに直交していること。

【0043】(1-2-1-2) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が互いに直交する方向となるように駆動していること。

【0044】(1-2-1-3) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交するx、y軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向をs軸としたとき、該非球面の形状は少なくともsの3次の項を持つこと。

【0045】(1-2-1-4) 前記マスクの有効領域は4角形

状をしており、該4角形状の一边が前記光学素子の駆動方向と平行となっていること。

【0046】(1-2-1-5) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していること。

【0047】(1-2-1-6) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していること。等の特徴としている。

【0048】(1-2-2) 前記光学手段を駆動したことによる前記投影光学系の光学性能の変化を補正していること

【0049】(1-2-3) 前記光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取ったとき、前記複数の光学素子のうち1つは $x$ 方向に駆動可能であり、他の1つは $y$ 方向に駆動可能であり、該駆動によって $x$ 方向と $y$ 方向で発生させるパワーの量を調整して、前記投影系の像面湾曲と軸上非点収差の少なくとも一方を補正していることを特徴としている。

【0050】又、

(1-2-3-1) 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記 $x$ 軸と平行となっていること。

【0051】(1-2-3-2) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていること。等の特徴としている。

【0052】(1-2-4) 前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴としている。

【0053】(1-2-5) 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0054】(1-3) 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の倍率を制御していることを特徴としている。

【0055】特に、

(1-3-1) 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0056】又、

(1-3-1-1) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向を $x$ 軸としたとき、該非球面の形状は少なくとも $x$ の3次の項を持つこと。

【0057】(1-3-1-2) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系に付随する位置合わせセンサー

からの情報に基づいて制御していること。

【0058】(1-3-1-3) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を入力したデータに基づいて制御していること。

【0059】(1-3-1-4) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面の形状を $f(x, y)$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ を定数としたとき、該非球面の形状 $f(x, y)$ は

$$f(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

で表わされること。

【0060】(1-3-1-5) 前記形状 $f(x, y)$ において $b=0$ であり、定数 $a$ と定数 $c$ は逆符号であること。

【0061】(1-3-1-6) 前記マスクの有効領域は4角形状をしており、該4角形状の一边が前記 $x$ 軸と平行となっていること。

【0062】(1-3-1-7) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子は、それに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていること。

【0063】(1-3-1-8) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていること。等の特徴としている。

【0064】(1-3-2) 前記光学手段が前記投影光学系と前記第2物体との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0065】(1-3-3) 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0066】(1-4) 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の像面湾曲を制御していることを特徴としている。

【0067】特に、

(1-4-1) 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0068】又、

(1-4-1-1) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向を $x$ 軸としたとき、該非球面の形状は少なくとも $x$ の3次の項を持つこと。

【0069】(1-4-1-2) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していること。

【0070】(1-4-1-3) 前記少なくとも1つの光学素子

10

20

30

40

50

## 21

の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していること。

【0071】(1-4-1-4) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面の形状を $f(x, y)$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ を定数としたとき、該非球面の形状 $f(x, y)$ は

$$f(x, y) = a(3xy^2 + x^3) + b(2xy + x^2) + cx + d$$

で表わされること。

【0072】(1-4-1-5) 前記形状 $f(x, y)$ において  $b=0$ であり、定数 $a$ と定数 $c$ は逆符号であること。

【0073】(1-4-1-6) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子は、それに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていること。等の特徴としている。

【0074】(1-4-2) 前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴としている。

【0075】(1-4-3) 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0076】(1-5) 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の光学特性を制御していることを特徴としている。

【0077】特に、

(1-5-1) 前記投影系は複数の光学手段を有し、該複数の光学手段はそれらが有する光学素子に施されている非球面形状が互いに異なっていることを特徴としている。

【0078】又、

(1-5-1-1) 前記複数の光学手段によって前記投影系の軸上非点収差、非対称な倍率、そして像面湾曲のうちの少なくとも2つを制御していることを特徴としている。

【0079】(1-5-2) 前記投影系は軸上非点収差を制御する機能を有する光学手段、回転非対称な倍率を制御する機能を有する光学手段、そして像面湾曲を制御する機能を有する光学手段のうちの少なくとも2つの光学手段を有し、該少なくとも2つの光学手段は各々独立又は合

【0080】(1-5-3) 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記 $x$ 軸と平行となっていることを特徴としている。

【0081】(1-5-4) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

## 22

【0082】(1-5-5) 前記光学素子のずらし方向を $x$ としたとき、前記非球面は式 $=ax^n$  ( $a$ は係数、 $n$ は整数)という形状で表わされることを特徴としている。

【0083】(1-5-6) 前記光学特性が像面の傾き、像面湾曲、軸上非点収差、低次及び高次のディストーションの何れかであることを特徴としている。

【0084】(1-5-7) 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0085】又、

(1-5-7-1) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していること。

【0086】(1-5-7-2) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していること。

【0087】(1-5-7-3) 前記マスクの有効領域は4角形状をしており、該4角形状の一边が前記 $x$ 軸と平行となっていること。

【0088】(1-5-7-4) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていること。等の特徴としている。

【0089】(1-5-8) 前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴としている。

【0090】(1-5-9) 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0091】(1-5-10) 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0092】(1-5-11) 前記光学素子のずらし方向を $x$ 、それと直交する方向を $y$ としたとき、前記非球面は式 $a(x^n + nxy^{n-1})$ という形状で表わされることを特徴としている。

【0093】(1-5-12) 前記光学特性が像面の傾き、像面湾曲、軸上非点収差、低次及び高次のディストーションの何れかであることを特徴としている。

【0094】(1-5-13) 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0095】又、

(1-5-13-1) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していること。

【0096】(1-5-13-2) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて

制御していること。

【0097】(1-5-13-3)前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記 $x$ 軸と平行となっていること。

【0098】(1-5-13-4)前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていること。等の特徴としている。

【0099】(1-5-14)前記光学手段が前記投影光学系の瞳位置近傍に配置されていることを特徴としている。

【0100】(1-5-15)前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0101】(1-5-16)前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0102】(1-6) 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、倍率及び3次のディストーション補正機能を持っている投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の高次のディストーションを制御していることを特徴としている。

【0103】特に、  
(1-6-1) 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0104】又、(1-6-1-1) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向を $x$ 軸としたとき、該非球面の形状は少なくとも $x$ の7次以上の項を持つことを特徴としている。

【0105】(1-6-2) 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0106】(1-6-3) 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0107】(1-6-4) 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記 $x$ 軸と平行となっていることを特徴としている。

【0108】(1-6-5) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられている

ことを特徴としている。

【0109】(1-6-6) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を予め求められている前記投影光学系の挙動の情報に基づいて制御していることを特徴としている。

【0110】(1-6-7) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系の特性を計測した値に基づいて制御していることを特徴としている。

【0111】(1-7) 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段と、倍率及び3次のディストーション補正機能を持っている投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の走査方向と直交する方向の高次のディストーションを制御していることを特徴としている。

【0112】(1-7-1) 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交し、更に走査方向と直交する方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0113】又、  
(1-7-1-1) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交する $x$ 、 $y$ 軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向を $x$ 軸としたとき、該非球面の形状は少なくとも $x$ の7次以上の項を持つことを特徴としている。

【0114】(1-7-2) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影露光装置に入力されている情報に基づいて制御していることを特徴としている。

【0115】(1-7-3) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影露光装置に付随する位置合わせセンサの計測した値に基づいて制御していることを特徴としている。

【0116】(1-7-4) 前記光学手段が前記投影光学系と前記基板との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0117】(1-7-5) 前記光学手段が前記マスクと前記投影光学系との間の光路中に配置されていることを特徴としている。

【0118】(1-7-6) 前記マスク面上のパターンを前記基板面上に投影露光する領域はスリット形状をしており、該スリット形状の辺が前記 $x$ 軸と平行となっていることを特徴としている。

【0119】(1-7-7) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0120】(1-8) 互いに同一形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光



学手段と、投影光学系とを有する投影系によりマスク面上のパターンを基板面上に投影露光する投影露光装置であって、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の3次のディストーションを制御していることを特徴としている。

【0121】特に、

(1-8-1) 前記投影光学系は倍率の制御機能を備えていることを特徴としている。

【0122】(1-8-2) 前記複数の光学素子のうち少なくとも1つの光学素子はそれに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向に位置調整可能となるように設けられていることを特徴としている。

【0123】又、

(1-8-2-1) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面上に互いに直交するx、y軸を取り、前記光軸に対して直交して駆動する方向をx軸としたとき、該非球面の形状は少なくともxの3次の項を持つこと。

【0124】(1-8-2-2) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影光学系に付随する位置合わせセンサーからの情報に基づいて制御していること。

【0125】(1-8-2-3) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を入力したデータに基づいて制御していること。

【0126】(1-8-2-4) 前記少なくとも1つの光学素子に施されている非球面の形状を $f(x, y)$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$ を定数としたとき、該非球面の形状 $f(x, y)$ は

$$f(x, y) = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f$$

で表わされること。

【0127】(1-8-2-5) 前記形状 $f(x, y)$ において $b=0$ であり、定数 $a$ と定数 $c$ は逆符号であること。

【0128】(1-8-2-6) 前記マスクの有効領域は4角形状をしており、該4角形状の一辺が前記x軸と平行となっていること。

【0129】(1-8-2-7) 前記複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子は、それに施されている非球面が前記投影光学系の光軸に対して直交方向で互いに絶対値が同じで逆方向に位置調整可能となるように設けられていること。

【0130】(1-8-2-8) 前記光学手段が前記投影光学系と前記第2物体との間の光路中に配置されていること。

【0131】(1-8-2-9) 前記光学手段が前記第1物体と前記投影光学系との間の光路中に配置されていること。等を特徴としている。

【0132】(1-8-3) 前記非球面の形状 $f(x, y)$ は $a$ を定数としたとき

$$f(x, y) = a(x^5 + 5 \times y^4)$$

で表わされることを特徴としている。

【0133】本発明の投影露光方法は、

(2-1) 投影光学系を有する投影系によりマスク面上のパ

ターンを基板面上に投影露光する投影露光方法において、互いに同一又は異なった形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段を光路中に設け、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の高次のディストーションを制御していることを特徴としている。

【0134】(2-2) 投影光学系を有する投影系によりマスク面上のスリット状に照明されたパターンを基板面上に該マスクと基板とを相対的に走査しながら投影露光する投影露光方法において、互いに同一又は異なった形状の非球面を有する1対の光学素子を、該非球面が対向するように配置した光学手段を光路中に設け、該複数の光学素子の相対位置を変えて該投影系の走査方向と直交する方向の高次のディストーションを制御していることを特徴としている。

【0135】特に、

(2-2-1) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影露光装置に付随する位置合わせセンサーの計測した値に基づいて制御していること。

【0136】(2-2-2) 前記少なくとも1つの光学素子の駆動を前記投影露光装置に入力されている情報に基づいて制御していること。等を特徴としている。

【0137】本発明のデバイスの製造方法は、

(3-1) 構成(1-1)～(1-8)のいずれか1項に記載の投影露光装置を用いてレチクル面上のパターンを投影系でウエハー面上に投影露光し、その後ウエハーを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴としている。

【0138】(3-2) 構成(2-1)又は(2-2)の投影露光方法を用いてレチクル面上のパターンを投影系でウエハー面上に投影露光し、その後ウエハーを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴としている。

【0139】本発明の投影露光装置は、

(4-1) マスクのパターンを基板上に投影する投影光学系と、投影光路中に供給される、それぞれの非球面同士が向かい合っている一対の透明な非球面部材、とを有し、該一対の非球面部材の一方が該投影光路を横切る方向に移動可能であり、この非球面部材の移動によって該一対の非球面部材の非球面間の差分が示す面形状が変化することによりマスクのパターンを基板上に投影するときの光学特性が変化するようにしていることを特徴としている。

【0140】(4-1-1) 前記光学特性は軸上非点収差を含むことを特徴としている。

【0141】又、

(4-1-1-1) 前記一対の非球面部材の夫々の非球面の形状は、前記移動の方向をx方向と仮定して、式で表わした時にxの3次の項を含むこと、又、前記マスクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記x方向は前記走査の方向と直交していることを特徴として



いる。

【0142】(4-1-1-2) 前記一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴としている。

【0143】(4-1-2) 前記光学特性は像面湾曲を含むことを特徴としている。

【0144】又、

(4-1-2-1) 前記一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、前記移動の方向を $x$ 方向と仮定して、式で表わした時に $x$ の3次の項を含み、又前記光学特性は該 $x$ 方向に関する前記像面湾曲を含むことを特徴としている。

【0145】特に、

(4-1-2-1-1) 前記マスクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記 $x$ 方向は前記走査の方向と直交していること光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化すること。

【0146】(4-1-2-1-2) 前記投影光路中に、更に、夫々の非球面同士が向かい合っている第2の一对の透明な非球面部材を有し、該第2の一对の非球面部材の一方が前記投影光路を横切る方向であって且つ前記 $x$ 方向に直交する $y$ 方向に移動可能であり、この非球面部材の移動によって該一对の非球面部材の非球面間の差分が示す面形状が変化することにより前記マスクのパターンを基板上に投影するときの前記 $y$ 方向に関する像面湾曲が変化しており、前記第2の一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、式で表わした時に $y$ の3次の項を含むこと。等を特徴としている。

【0147】この他、前記2組の一对の非球面部材を用いて前記マスクのパターンを基板上に投影するときの像面湾曲と軸上非点収差を調整することや、前記第2の一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することや、前記2組の一对の非球面部材の夫々が、互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することや、前記2組の一对の非球面部材の一方の部材が、各組共通の両面が非球面の1つの部材であること等を特徴としている。

【0148】(4-1-2-2) 前記一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴としている。

【0149】(4-1-3) 前記光学特性は投影倍率を含むことを特徴としている。

【0150】(4-1-3-1) 前記一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、前記移動の方向を $x$ 方向と仮定して、式で表わした時に $x$ の3次の項を含み、又前記光学特性は該 $x$ 方向に関する前記投影倍率を含むこと、又前記マ

スクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記 $x$ 方向は前記走査の方向と直交していることを特徴としている。

【0151】(4-1-3-2) 前記一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴としている。

【0152】(4-1-4) 前記光学特性は歪曲を含むことを特徴としている。

10 【0153】(4-1-4-1) 前記一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、前記移動の方向を $x$ 方向と仮定して、式で表わした時に $x$ の5次の項を含むこと、又、前記マスクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記 $x$ 方向は前記走査の方向と直交していることを特徴としている。

【0154】(4-1-4-2) 前記一对の非球面部材の夫々の非球面の形状は、前記移動の方向を $x$ 方向と仮定して、式で表わした時に $x$ の7次の項を含むこと、又は前記マスクと前記基板を走査しながら前記投影露光を行っており、前記 $x$ 方向は前記走査の方向と直交していることを特徴としている。

【0155】(4-1-4-3) 前記一对の非球面部材が互いに逆方向で且つ前記投影光路を横切る方向に移動することによって前記非球面間の差分が示す面形状が変化することを特徴としている。

【0156】本発明のデバイスの製造方法は、(5-1) 構成(4-1)の投影露光装置によってデバイスパターンを基板上に転写する段階を含むことを特徴としている。

30 【0157】

【発明の実施の形態】図1は本発明の投影露光装置の実施形態1の要部概略図である。本実施形態は通常のステッパー又は走査型(スキャンタイプ)のステッパー(投影露光装置)に適用した場合を示している。

【0158】同図において4は露光照明系であり、第1物体としてのレチクル(マスク)1を照明している。露光照明系4はArFエキシマレーザー(波長193nm)又はKrFエキシマレーザー(波長248nm)又はg線(436nm)やi線(365nm)を発するランプのうちの何れか1つの光源と、公知の光学系等から構成されている。

40 【0159】1は第1物体としてのレチクル(マスク)である。2は屈折型又はカタジオプトリック系等の投影光学系であり、露光照明系4によって照明されたレチクル1の回路パターンを第2物体としてのウエハー3(被露光基板)に投影している。

【0160】T1は軸上非点収差を制御する機能を有する光学手段であり、後述するように夫々が非球面を有し且つ石英又はホタル石より成る2つの光学素子11、12を有している。光学手段T1は投影光学系2の瞳付近

に配置してある。5はウエハーホルダーであり、ウエハー3を保持している。6はウエハーステージであり、ウエハーホルダー5を載置しており、周知のxyz駆動及びθ駆動、チルト駆動等を行っている。

【0161】7は干渉用ミラーであり、ウエハーステージ6の位置を不図示の干渉計でモニターするためのものである。干渉計ミラー7と干渉計から得られる信号を用いて不図示のウエハーステージ駆動制御系によりウエハー3を所定の位置に位置決めして、その状態で投影露光を行っている。

【0162】尚、本実施形態において光学手段T1と投影光学系2はマスク1面上のパターンを基板3上に投影する投影系の一要素を構成している。以下の各実施形態においても同様である。

【0163】本実施形態が走査型のステッパー（投影露光装置）であるときはレチクル1を載置している不図示のレチクルステージとウエハーステージ6とを投影光学系2の結像倍率に応じた速度比率で光学系2の光軸と直交する方向に移動させて走査露光している。

【0164】本実施形態のステッパーは光学手段T1と不図示の光学手段T1駆動手段とを投影光路中に設けているのが通常のステッパー又は走査型のステッパーと異なっており、その他の構成は基本的に同じである。

【0165】一般に露光用光源としてArFエキシマレーザー（波長193nm）を用いた投影光学系では、ArFエキシマレーザーからの光束の波長が短波長領域にある為、それに使用できる硝材の選択範囲が狭く、現在のところ石英（SiO<sub>2</sub>）と螢石（CaF<sub>2</sub>）があるのみである。

【0166】しかしながら石英もこの短波長領域では透過率の点で問題があり、露光光を吸収して熱変化（光学特性変化）を起こし結像性能を変化させる。この事情は露光用光束としてi線（波長365nm）を用いたときに起きている熱変化と同じような状況である。i線では色収差を補正するために種々の硝材を使用するが、この中には透過率の低い硝材も含まれている。

【0167】このためにi線でも熱収差の問題が起こるが、ArFエキシマレーザーを用いた投影光学系ではパターンの微細化が進んで焦点深度が小さくなる分、状況はより厳しくなっている。

【0168】投影系の硝材は露光光を吸収したために収差変動を起こすが、このとき起こる収差の中で補正が難しい収差の1つは非回転対称な成分の収差である軸上非点収差の補正である。軸上非点収差は投影系に対する光の通過の仕方が非回転対称であることにより生じる。投影系に対するこの種の非回転対称性はスキャン光学系のときには照明光の断面形状が長方形のスリット状の光によって投影光学系2に当たる光束もスリット状になったことでより強調される。

【0169】特にスリット状の長手方向と短手方向の長

さの比は通常5前後あり、投影系の内部には非回転対称な分布（熱分布）がステッパーの場合より強調された形で存在する。このために発生する収差には軸上と軸外に発生する軸上非点収差がある。

【0170】この軸上非点収差とは、投影光学系の光軸を夫々が含み互いに直交する二断面に於いてのピント位置が異なるものである。

【0171】従来、光学系はもともとその光学特性が光軸に対して軸対称（回転対称）になることが前提で構成されており、露光光の吸収による光学特性の変化の非回転対称性で軸上にまでその影響が及ぶことは想定されていなかった。

【0172】本発明者によれば露光による軸上非点収差の発生は初期が大きく、露光を続けていくと吸収される熱の拡散によりその値が小さくなることが確かめられている。

【0173】一般に、半導体素子製造用の投影系において、それを構成する硝材が露光光を吸収することによって生じる軸上非点収差の量は僅少であるが露光するパターンがハーフミクロンとかクォーターミクロンという具合に微細になり焦点深度が小さくなってきたときには無視できない。

【0174】本発明者は実際に発生する軸上非点収差の量が0.2～0.3μmのオーダーでの小さな量であるので、新たな機能を持った透過型の光学素子を導入して補正する可能性があることを見出した。

【0175】本実施形態の投影系の具体的な構成としては投影光学系の光路中に少なくとも2枚一組の非球面を持った光学素子より成る光学手段の一つあるいは複数個夫々の素子の非球面が対面するように挿入し、該組となった光学素子を光軸と直交する方向に横ずらして該方向に関する相対位置を変化させて、これにより軸上非点収差を調整し、補正している。組となった2枚の非球面より成る光学素子より成る光学手段はその非回転対称なパワーをずらし量に応じて発生させ、結果的に投影系の軸上非点収差を変化させることによって補正することを可能としている。

【0176】特に本実施形態では露光光の吸収によって起こる軸上非点収差の発生量が小さいことに着目し、小さな非球面量しか持たない光学手段を利用して効果のある補正を行っている。又本実施形態の光学手段は非球面量の絶対値が小さいため、軸上非点収差の補正のみを行ない、他の光学特性に悪影響を与えないことが可能であるため、収差の補正手段としても好ましい手段である。

【0177】次に本実施形態に係る軸上非点収差を補正するための光学手段の具体的な構成について説明する。本実施形態の光学手段は2枚組の光学素子を用いて、該2枚の光学素子を一体のものとして考えたときに微小なパワーが発生でき且つこのパワーが微妙に変えられるように構成したことを特徴としている。

10

20

30

40

50

## 31

【0178】図1の実施形態1における投影露光装置は、このような光学手段を用いて投影光学系の軸上非点収差を補正している場合を示している。

【0179】次に図1の実施形態1で用いた光学手段T1の構成について説明する。図2は本実施形態の軸上非点収差を制御する機能を有する光学手段T1の要部断面図である。

【0180】同図において互いに向かい合って配置されている2つの光学素子11と12は外側の面11a, 12aが平面であり、向き合っている面11b, 12bが\*

$$\begin{aligned} f_a(x, y) &= ax^3 + bx^2 + cx + d_1 \\ f_b(x, y) &= ax^3 + bx^2 + cx + d_2 \dots\dots (1a) \end{aligned}$$

となる。

【0182】ここでxについてのみの式となっているのは、2つの光学素子11, 12がy方向については平面であり、x方向については非球面であり、x方向に対する相対位置をずらしてx方向の光学的パワー（焦点距離）のみを制御するからである。x方向への素子の横ずらしによって光学的なパワーを発生させるため、xは3次の項まで用いる。

【0183】初期状態においては光学素子11の非球面※

$$\begin{aligned} f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) \\ = 3a\Delta x^2 + 2b\Delta x + c\Delta + (d_1 - d_2) \\ + 3a\Delta^2 + b\Delta^2 + a\Delta^3 \dots\dots (2a) \end{aligned}$$

となる。

【0184】ここでΔの高次の項の影響は小さいとして無視し、さらに実施形態の効果を理解し易くするため、 $b=c=0$  …… (3a) とする。その結果 ☆

$$\begin{aligned} f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) &= 3a\Delta x^2 + (d_1 - d_2) \\ &\dots\dots (4a) \end{aligned}$$

となる。

【0186】(4a)式が $x^2$ の項を持っていることが本実施形態の根幹である。このため横ずらし量Δによって光学素子11, 12はx方向のみに光学的パワーを持つ光学素子となり、しかもそのパワーを横ずらし量Δによって自由に変えることが可能である。

【0187】横ずらしして差分をとるという作業は微分そのものである、非球面の形状として3次の項を入れておき、微分の効果で光学的パワーを与える2次の成分を出しているのが光学素子11, 12の作用である。

【0188】本実施形態では簡単のため(3a)式で $b=c=0$ としたが、(2a)式の $2b\Delta x$ の項はシフト分に相当する。Δはパワーを制御する目的から既知の量となるため、シフト分については補正を行うことができる。 $b \neq 0$ としたとき、具体的にシフトが問題となるのはアライメントの場合である。グローバルアライメントの時には光学素子11, 12というペアの光学素子の相対位置を変化させた結果生じるシフトを逆補正するようにステージに指令を与えれば、この問題は回避される。

【0189】また定数cの項に適当な値を与えるとf a ☆50

## 32

\*同一形状の非球面であり、両方の面を重ね合わせた時、一致するように向き合っている。尚、面11b, 12bは互いに形状が異なった非球面であっても良い。

【0181】図中Aは光軸である。光軸Aに直交する形でx, y軸を取り、互いに向かい合っている非球面の形状として光学素子11の非球面形状を $f_a(x, y)$ 、光学素子12の非球面形状を $f_b(x, y)$ とし、ずらす方向をx方向とすると、両者の非球面形状は定数項だけ異なる次の式で与えられる。即ち

※形状 $f_a(x, y)$ と光学素子12の非球面形状 $f_b(x, y)$ の凹凸が完全に一致するため、光学素子11と光学素子12より成る光学手段は光学的パワーを有さず平行平板としての働きをするに過ぎない。光学素子11と光学素子12の間の光軸A方向の距離（即ち間隔）は小さいほどよく例えば100μm程度の値が典型的である。ここで光学素子11を距離Δだけx方向に動かした場合を想定する。このときの影響はa, b, cを各々定数とすると

☆ (2a)式は、簡単に次の(4a)式で表わすことができる。

【0185】

☆ (x, y),  $f_b(x, y)$ で表わされる非球面に対し平面からのずれの絶対値を小さくできる効果がある。したがって定数aの値によっては定数b, cをゼロにせず、故意に値を与えることも効果的である。実際には定数bはゼロとし、定数cに定数aと逆符号の値を与えても良い。

【0190】しかしcの値による補正は実際には干渉計の測定時の入射光束の傾きで補正できるので、 $C=0$ としても問題はない。

40 【0191】一般に軸上非点収差が0.2~0.3μm前後の小さな値を補正するために要求される非球面の量の絶対値は非常に小さい。実際に有効な量は光学素子11, 12を置く位置にもよるがニュートン縞で数本のところである。代表的な例として仮にパワー成分として発生させる量を数本ということで1μmとし、レンズの径を200mm、このときのずらし量Δを5mmとすると(4a)式より、

$$3a \times 5 \times 100 \times 100 = 0.001$$

となり、

$$a = 6.7 \times 10^{-9}$$

という値が得られる。

【0192】100は径が200mmなのでその半径の\*

$$6.7 \times 10^{-9} \times 100 \times 100 \times 100 = 6.7 \times 10^{-3}$$

という値となり、 $\pm 6.7 \mu\text{m}$ の非球面量を光学素子11, 12が持っている。

【0193】平面からのずれの実際量を小さくするにはこれに定数cの項を加えるとよい。100mmのところでは $6.7 \mu\text{m}$ の値を与える定数cの値は $6.7 \times 10^{-5}$ なので、定数aと定数cを逆符号として $c = -6.7 \times 10^{-5}$

とすると非球面量の平面からのずれは $\pm 2.6 \mu\text{m}$ にまで減少させることができる。

【0194】図2は定数cがゼロのときの非球面の形状、図3は定数cに上記の値を入れたときの $y=0$ の断面での形状である。200mmの径の中で非球面が緩やかな形状をしており、しかも光学素子11と光学素子12が互いに補いあう形(相補形)をしているため、光学素子11と光学素子12の相対位置の変化による他の収差の発生量はほとんど無視する程度の値に抑えることができ、軸上非点収差のみを微小修正することができる。

【0195】場合によってはフォーカス、倍率等の他の光学特性の微小だが補正が必要な変化が生じる場合があるので、この時はこの他の光学特性の補正を行えば投影系の性能は不変と見なすことができる。

【0196】従来、軸上非点収差を、非球面を用い、且つその量を連続的に変えながら制御するという考え方はなく、その意味で本実施形態は高機能を要求される半導体素子製造用の投影露光装置の更なる高機能化に寄与するところが多い。

【0197】また、対象となる軸上非点収差の量が小さいため、使用する非球面を干渉計で計測することが容易な量にまで小さくすることが本実施形態のもう一つのポイントである。

【0198】本実施形態においては相対的に横ずらしした2つの非球面の差分から所望の軸上非点収差を発生させるため、光学素子11及び光学素子12自体の非球面量は差分の量よりも一桁近く大きい値となる。上記の例でいえば横ずらしによる効果として $1 \mu\text{m}$ の値を得るために $6.7 \mu\text{m}$ の非球面が必要とされる。これに傾きの最適化を行って $\pm 2.6 \mu\text{m}$ まで小さくすることで干渉計の高精度な測定域に入ってくるというのが本実施形態を適用するに当たってのキーポイントである。非球面の製作に当たっては面が所望する形状に正確に加工されたかの確認が重要であるが、本実施形態程度の量に抑えることができれば現行の技術が充分適用できる。

【0199】また補正量を小さくする(ダイナミックレンジを小さくする)、又はずらし量を大きくすることで非球面量はより小さくすることもできる。

【0200】更に本実施形態では非回転対称な光学的パワーの補正を屈折作用をもつ光学素子で実現できたこと※50

\* 値を示しているが、仮に $b=c=0$ とすると、(1a)式で非球面の量は

※で投影露光装置に用いられる屈折型、カタジオプトリック型の双方に対し有効な手段を提供できることも大きな利点である。

【0201】軸上非点収差の発生の方向はスリット状の光(以下「スリット」と呼ぶ)で露光を行うスキャンタイプのステッパーでは、スリットの方向性と密接な関係がある。従って制御対象となる光学的パワーを持つ上記のx方向はスリットの長手または短手方向と一致するように設定される。実際的にいえば図1で正方形の形状をしたレチクル1の外形の方向と一致するように設定される。

【0202】このような設定はステッパーにおける露光に伴い発生する収差(露光収差)の発生時にも有効である。本実施形態では軸上非点収差を簡単に説明するためスキャンタイプのステッパーを例にとったが通常のステッパーでもレチクル上のパターンが方向性を持つと、回折光が非回転対称に分布し、軸上非点収差を発生させることがある。レチクル上のパターンは回路パターンを設計する際のCADの特性からレチクルの外形と平行なエッジを持つ特性をもち、x方向をレチクルの外形と平行に設定すると、露光収差の発生する方向とx方向を一致することができ、発生する収差を抑えることができる。

【0203】光学素子11, 12の各非球面の位置関係を変えて調整する不図示の駆動機構は、予め投影露光装置の本体内のCPUに記憶されている軸上非点収差の特性の設定によって指示され駆動される。駆動量は予め実験、あるいはシミュレーションによって装置に記憶された軸上非点収差の特性から、露光量、レチクルのパターン率、露光エネルギー等を用いて補正量を計算し、制御することができる。また予め入力されている系の特性から計算するのではなく、投影光学系の特性を計測しながら駆動量を制御する方法も適用できる。軸上非点収差の発生量は露光によるフォーカス変化と相関をもつ特性があり、露光によるフォーカス変化量をモニタして補正量を換算し、光学素子11及び/又は光学素子12の駆動量を算出することも適用できる。

【0204】勿論、直接、非点収差の量を測定して、その値を光学素子11, 12の相対位置駆動量にフィードバックしてもよい。

【0205】露光収差としての軸上非点収差の発生量は時間的に変化するため、光学素子11及び/又は光学素子12の駆動量も時間的に変化する。

【0206】また、前記実施形態の構成では一方の光学素子をx方向にずらす方式で説明したが、これ以外に一方をx方向に $\delta$ 、もう一方をx方向に $-\delta$ 移動させても良い。この様子を図4に示す。

【0207】即ち

35

$$\begin{aligned} & f a(x+\delta, y) - f b(x-\delta, y) \\ & = 2 a(3 \delta x^2 + \delta^3) + 4 b \delta x + 2 c \delta + d_1 - d_2 \end{aligned}$$

であるから、先程と同様に、

$$b=c=0$$

とし、 $\delta$ の高次の項の影響を無視すると、

$$f a(x+\delta, y) - f b(x-\delta, y) \approx 6 a x^2 \delta + d_1 - d_2$$

となる。

【0208】従って、仮にずらし量 $\Delta=\delta$ とするとパワー変化量は2倍になる。あるいは、同じパワー変化を得るためには係数(定数) $a$ の値を半分にできる。これは非球面量を半減することにつながり、形状評価を容易にする効果をもたらす。更に、同じパワー変化を得るためにずらし量を半分にできる。これは駆動系に設けるスペースや位置決め精度に有利になる。

【0209】更に前記実施形態の構成では光学素子の一面を非球面とする系で説明したが、非球面を両面に設けても良い。この様子を図5に示す。この時、光学素子21, 22の厚みが薄いことを前提とすれば、これまでの説明で用いた作用効果は単純に加算される。従って、すべて同一形状の非球面の場合は前述の例と同じ光学的パワーの変化を得るためには係数 $a$ の値を半分にできる。また、当然一方の素子を駆動する方式も両方の素子を互いに逆方向に駆動する方式でも採用できる。又、1対の光学素子は互いに同一形状の他に互いに異なった形状の非球面であっても良い。

【0210】当然ではあるが一組の光学素子を多数組用いても同様の効果が得られる。その一例を図6に示す。

【0211】図7は本発明の実施形態2の要部概略図である。本実施形態では光学手段T1を投影光学系2とウエハー3との間の光路中に配置しており、図1の実施形態1に比べて、光学手段T1の光路中への挿入位置が異なっており、その他の構成は同じである。

【0212】本実施形態では投影光学系2とウエハー3の間に、これまで説明した、2つの互いに横ずらした非球面の組み合わせより所望の非球面(効果)を形成する光学素子を入れて軸上非点収差の補正を行っている。光学素子自身の作用は実施形態1のとおりであるが、本実施形態で用いる光学手段は投影光学系2の瞳面近傍以外でも投影光学系の構成により適宜挿入する位置を見出し、この位置に設けている。

【0213】光学手段T1の配置として投影光学系2の瞳面近傍、及び投影光学系2とウエハー3あるいはレチクル1との間が好ましい。なぜならば、前記3つの箇所は収差コントロールの独立性が高く、好適な位置であるからである。しかし投影光学系内の瞳面近傍以外の位置にも光学手段T1を挿入可能である。

【0214】図8は本発明の実施形態3に用いる光学手段T13のx方向断面とy方向断面の夫々についての要部概略図である。本実施形態の投影露光装置の光学手段\*50

36

\*T13以外の部分は図1又は図7に示す構成を有している。

【0215】本実施形態の光学手段T13は3つの光学素子21, 22, 23を有している。これまでの各実施形態では非点収差の発生する方向がスリットの長手方向や走査方向と関係があるので、一方向の光学的パワーの補正のみを考えてきた。しかしながら軸上非点収差だけでなく像面湾曲の発生が無視できない場合があるので、これにも対処するために本実施形態がある。

【0216】図8に示す光学手段T1はx方向だけでなく、x方向に直交するy方向にも同じ光学的パワー可変機能をつけて、x, yの2つの方向の光学的パワーを独立に制御できるようにすることによって、像面湾曲と軸上非点収差の双方を補正することができるようにしたのである。

【0217】図8において図の上方にレチクルと投影光学系があり、図の下方にウエハーがある。そして光学素子21の上の面21aが平面で、光学素子21の下の方21bと光学素子22の上の面22aの夫々が互いに対面する非球面になっており、これらが相互にy方向にずれることで、y方向の光学的パワーを持つ、且つ変えられるようになっていく。y方向の光学的パワーを制御する原理は前述の(1a)~(4a)式で説明したものと同じで、ただしパラメータのxをyに交換したものとなる。

【0218】また光学素子22の下の方22bと光学素子23の上の面23aの夫々が対面する非球面となっており、これらが相互にx方向にずれることで、x方向の光学的パワーを持つようになっていく。x方向の光学的パワーを制御する原理は前述の(1a)~(4a)式で説明したものと同じである。光学素子23の下の方23bは平面である。光学素子21と22、光学素子22と23を構成する2種類の非球面のパラメータa, b, cは同じであってもよいし、また異なっても良く、パワーを計算する(2a)式に従ってずらし量を制御すればよい。

【0219】図8のような構成とすることでx方向とy方向の夫々の光学的パワーを独立に制御することができる。x方向とy方向で発生させる光学的パワーの量を、同じとすれば像面湾曲が補正され、互いに異なった量とすれば像面湾曲と軸上非点収差が補正され、x方向とy方向の片一方の光学的パワーのみを発生させれば軸上非点収差が補正されるという組み合わせとなる。

【0220】図8では光学素子22の上の方22aをy方向に、下の方22bをx方向の制御に用いたが、光学素子22を上下2つに分割してx方向の制御とy方向の制御を固体として完全に分離してもよい。光学素子21から光学素子23までの相対位置関係の駆動指示につい

てはこれまで説明した例と同一で、予め認識している系の特性から計算しても、実際に測定したデータから計算して行ってもよい。制御対象が1次元的なものから2次元的なものに増えたため、動かし方が少し複雑になるだけに過ぎないので、詳しい駆動法についてはここでは説明を省略する。

【0221】以上の実施形態1、2、3では軸上非点、あるいは像面湾曲を補正する際、ベストフォーカスの設定値が微小量変化したりするが、非球面光学素子の駆動量からその変化量が計算でき、既知量となるので、半導体投影露光装置内のCPUで変化量を求めて、投影光学系の光軸方向に関するウエハ面位置の制御値に反映させれば問題がない。その他の光学性能、例えば倍率への影響も同様に非球面の駆動量から計算できる量なので同様に補正可能である。

【0222】本発明の光学手段の導入による他の光学性能への影響をほとんど無視しうるくらい小さく抑えることができるのは前述のとおりである。一方、例えば軸上非点収差を発生させたときに非回転対称な倍率の発生の可能性があるが、スキヤンタイプのステッパーでは非回転対称な倍率、即ち走査方向とスリット長手方向の倍率差を補正できるため問題がない。

【0223】又、通常のステッパーでは後述の非回転対称倍率補正機能を付加し、作用させれば問題はない。

【0224】以上の実施形態1、2、3の投影露光装置は、投入エネルギーによらず、安定した所定の性能を発揮できることになり、投影露光装置の信頼性が向上するとともに、投入エネルギーの制約の向上にともなってスルーputが向上し、半導体チップのコスト削減に大きく寄与する。又発生量が可変であることより、種々の変動にも対応できるため、汎用性に富み、非球面量が小さいために他の光学性能に対する影響を無視できる値に抑えることができる。また系の構成によっては軸上非点収差に加えて像面湾曲を制御できることも大きな利点となっている。

【0225】図9は本発明の投影露光装置の実施形態4の要部概略図である。本実施形態は通常のステッパー又はスキヤンタイプのステッパーである投影露光装置に適用した場合を示している。

【0226】同図において4は露光照明系であり、第1物体としてのレチクル1を照明している。露光照明系4は、ArFエキシマレーザー（波長193nm）又はKrFエキシマレーザー（波長248nm）又はg線（436nm）やi線（波長365nm）を発するランプのいずれか1つの光源と公知の光学系等から構成されている。

【0227】1は第1物体としてのレチクルである。2は屈折型又はカタジオプトリック型の投影光学系であり、露光照明系4によって照明されたレチクル1の回路パターンを第2物体としてのウエハ（基板）3に投影

している。

【0228】T2は光軸に関して回転対称又は非回転対称な倍率を制御する機能を有する光学手段であり、後述するように非球面を有する2つの光学素子31、32とを有している。光学手段T2はレチクル1と投影光学系2の間の光路中に配置している。5はウエハホルダーであり、ウエハ3を保持している。6はウエハステージであり、ウエハホルダー5を載置しており、x、y、z駆動及びθ駆動、チルト駆動等を行っている。

【0229】7は干渉用ミラーであり、ウエハステージ6の位置を不図示の干渉計でモニターするためのものである。干渉計ミラー7と干渉計から得られる信号を用いて不図示のウエハステージ駆動制御系によりウエハ3を所定の位置に位置決めし、この状態で投影露光を行っている。

【0230】本実施形態がスキヤンタイプのステッパーであるときはレチクル1を載置しているレチクルステージ（不図示）とウエハステージ6とを投影光学系2の結像倍率に応じた速度比で光学系2の光軸と直交する方向へ駆動することによって走査露光を行う。

【0231】本実施形態は、光学手段T2を光路中に設けているのが通常のステッパー又は走査型のステッパーと異なっており、その他の構成は基本的に同じである。

【0232】一般に投影系の結像倍率を制御する為の制御方法としては投影系内の光学素子を光軸方向に移動させる手法、投影系の一部の密封空間内の圧力を制御する方法等が知られており、これらはいずれも本実施形態に適用することができる。

【0233】しかしながらこれらの手法は光軸に対し回転対称な倍率を制御するものであり、アナモルフィックな倍率への補正、即ちそれぞれが光軸に対し直交し、且つ互いに直交する2つの軸であるx軸とy軸の夫々の方向の倍率を互いに異なる値に制御することはできない。

【0234】実際に半導体素子を製造するときには、アナモルフィックな倍率がウエハ自身に引き起こされることが確認されている。複雑なものでは既に20を超えるウエハの製造工程では成膜や拡散などの高熱工程が繰り返される。一方でそのような高熱工程の前には露光によるパターンニングが行われる。半導体素子で形成されるパターンは工程毎に必ずしも等方的なものではなく、例えばビット線工程であればx方向の線ばかり、ワード線工程であればy方向の線ばかり、というようにある特定の方向に片寄った構成となる場合が多い。

【0235】このような方向性は半導体素子を設計する際のCADが、x、y座標をベースにしていること、また半導体素子自体が繰り返しパターンを多く必要とするため工程毎に構成する線の方向が片寄ってしまうことなどによる。従ってでき上がった半導体素子はx方向とy方向の線が同じくらい使われていたとしても、製造途中の個々の工程のレベルでは方向性が顕著に現われること

10

20

30

40

50



があり、パターニングのあとに行われる高熱工程での伸びは当然パターンの方向性に従った異方性を持つ。これが本実施形態の技術的な背景となっている。

【0236】ウエハーにおける異方性を持つ伸縮は投影露光装置側の位置検出センサのアライメント検出機能を用いて決定することができる。このときの伸縮の検出はアライメント過程の中で、あらかじめウエハー側に設けておいたアライメント専用マークを投影露光装置側の位置検出センサで読み取ることで行う。

【0237】ウエハーの異方性の検出はグローバルアライメントとダイバダイアライメントなど公知の全てのアライメント方法が適用できる。グローバルアライメントの場合はウエハー全体での伸縮が各ショットの伸びと一致するという計算方式を用いると良い。

【0238】発明者の分析によれば実際に引き起こされる熱によるウエハーの異方性は極めて小さな量であることが判明した。ウエハーの平均的伸縮、即ちx方向とy方向の伸縮の平均値は10ppm前後にまで達する。このなかで異方性の占める割合は工程にもよるが最大10%から20%程度で、2ppm前後である。従って、ウエハー自身の非回転対称な倍率の補正は後述する光学系その他の誤差要因を考えると5ppm位までの値を制御することが必要とされる。

【0239】ウエハーの非回転対称成分(倍率)を誘う2ppm程度の異方性伸縮量は今まで問題とされない値であったが、画面サイズの大形化と、対称線幅の微細化によって新たな問題として浮かび上がってきている。

【0240】次に本実施形態に係るウエハーの異方性(伸縮)を修正するための光学手段の具体的な構成について説明する。本実施形態では2枚組の光学素子を用いた光学手段を利用して投影光学系に回転対称又は非回転\*

$$f_a(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d_1$$

$$f_b(x, y) = ax^3 + bx^2 + cx + d_2 \quad \dots (1b)$$

となる。

【0245】(1b)式でy項が無いのは光学系に対しxの方向にのみ光学的なパワー(有限の焦点距離)を与えるためである。光学素子31、32はx方向に関する相対位置をずらすことによって用いられるが、このような横ずらしによって光学手段T2に光学的なパワーを発生させるため、非球面の形状としてはxの3次の項まで用いている。

【0246】初期状態においては非球面形状 $f_a(x, y)$

$$f_a(x + \Delta, y) - f_b(x, y)$$

$$= 3a\Delta x^2 + 2b\Delta x + c\Delta + (d_1 - d_2)$$

$$+ 3a\Delta^2 x + b\Delta^2 + a\Delta^3 \quad \dots (2b)$$

となる。

【0248】ここで $\Delta$ の高次の項は移動量が小さいとして無視し、

☆

$$f_a(x + \Delta, y) - f_b(x, y) = 3a\Delta x^2 + (d_1 - d_2)$$

$$\dots (4b)$$

\* 対称な異方性の結像倍率を発生させることを特徴としている。

【0241】図9の実施形態4における投影露光装置は、このような光軸に関して非回転対称な結像倍率を光学手段T2を用いて補正している。特に本実施形態では投影光学系2の最もレチクル1側に近いところまたはその等価な位置に2枚組の非球面を持った光学素子より成る光学手段T2を挿入し、該光学素子の光軸と直交する方向についての位置関係を変更し、調整することによって光軸に関して非回転対称な倍率を補正している。

【0242】さらに本実施形態では倍率を独立に制御できる2つの方向を半導体素子パターンをCAD上で設計するときに用いるX方向およびY方向に一致させることで、実際の半導体素子製造時に起きる非対称な倍率の動きにマッチした光学系の制御を行うことを容易としている。

【0243】次に図9の実施形態4で用いた光学手段T2の構成について説明する。図10は本実施形態で用いた光軸に関して非回転対称な所望の倍率を供給する機能を有した光学手段T2の要部断面概略図である。同図において互いに向かい合って配置されている2つの光学素子31と32は外側の面31a、32aが平面であり、向き合っている面31b、32bが、図示する状態で互いに重ね合わせた時に一致するような同一の非球面形状を持っている。

【0244】図中光軸Aに直交する形でx、y軸を取り、互いに向かい合っている非球面の形状として、光学素子31の非球面形状を $f_a(x, y)$ 、光学素子32の非球面形状を $f_b(x, y)$ とすると、両者の非球面形状は定数項だけ異なるxの同一の3次式で与えられる。即ち

※y)は非球面形状 $f_b(x, y)$ と凹凸が完全に一致するため、光学素子31と光学素子32より成る光学手段T2は光学的パワーを有さず平行平板としての働きをするに過ぎない。光学素子31と光学素子32の間の光軸A方向の距離間隔は小さいほどよく、例えば100μm程度の値が典型的である。

【0247】ここで光学素子31を $\Delta$ だけx方向に動かした場合を想定する。このときの影響はa、b、cを定数とすると

$$\star b = c = 0 \quad \dots (3b)$$

とすると、(2b)式は簡単となって、



となる。

【0249】(4b)式が $x^2$ の項を持っていることが本実施形態の根幹である。このため横ずらし量 $\Delta$ によって光学素子31, 32は $x$ 方向にのみ光学的パワーを持つ光学素子となり、しかもその光学的パワーを横ずらし量 $\Delta$ を変えることによって自由に変わることが可能である。

【0250】横ずらしして差分をとるという作業は微分そのものなので、非球面の形状として3次を入れておき、微分の効果でパワーを与える2次の成分を出しているのが光学素子31, 32の作用である。

【0251】本実施形態では簡単のため(3b)式で $b=c=0$ とした。又(2b)式の $2b\Delta x$ の項はシフト分に相当する。 $\Delta$ はパワーを制御する目的から既知の量となるため、シフト分については補正を行うことができる。具体的にシフトが問題となるのはアライメントを行うときである。ベアの光学素子31, 32の相対位置を変化させた結果生じるシフトを逆補正するようにステージに指令を与えれば、この問題は回避される。

$$6.7 \times 10^{-9} \times 100 \times 100 \times 100 = 6.7 \times 10^{-3}$$

という値となり、 $\pm 6.7 \mu\text{m}$ の非球面量を光学素子31, 32が持っている。平面からのずれの実際量を小さくするにはこれに定数 $c$ の項を加えるとよい。100mmのところでは $6.7 \mu\text{m}$ の値を与える定数 $c$ の値は $6.7 \times 10^{-5}$ なので、定数 $a$ と定数 $c$ を逆符号として $c = -6.7 \times 10^{-5}$

とすると非球面量の平面からのずれは $\pm 2.6 \mu\text{m}$ にまで減少させることができる。

【0254】図10は定数 $c$ がゼロのときの非球面の形状、図11は定数 $c$ に上記の値を入れたときの形状である※30

$$\begin{aligned} f a(x+\delta, y) - f b(x-\delta, y) \\ = 2a(3\delta x^2 + \delta^3) + 4b\delta x + 2c\delta + d_1 - d_2 \end{aligned}$$

であるから、先程と同様に、

$$b=c=0$$

とし、 $\delta$ の高次の項の影響を無視すると

$$f a(x+\delta, y) - f b(x-\delta, y) \approx 6ax^2\delta + d_1 - d_2$$

となる。

【0256】従って、仮にずらし量 $\Delta = \delta$ とすると光学的パワー変化量は2倍になる。あるいは、 $\Delta = \delta$ とすると同じ光学的パワー変化を得るためには係数(定数) $a$ の値を半分にできる。これは非球面量を半減することにつながり、形状評価を容易にする効果をもたらす。更に $\Delta = \delta$ とすると同じ光学的パワー変化を得るためにずらし量を半分にできる。これは駆動系に設けるスペースや位置決め精度に有利になる。

【0257】実際にはこの実施例では $\pm$ 方向にずれることで相対ずれ量が2倍になった効果で非球面量が半減する。

【0258】更に前記実施形態4の構成では光学素子の☆50

\*【0252】また定数 $c$ の項に適当な値を与えれば非球面の平面からのずれの絶対値を与えることも効果的である。実際には非球面量の値を小さく抑えるために定数 $b$ はゼロとし、定数 $c$ に定数 $a$ と逆符号の値を与えることが好ましい。また前述の理由で $C=0$ としても構わない。

【0253】一般に倍率が2ppm前後の小さな値を補正するために要求される非球面の量の絶対値は非常に小さい。実際に有効な量は光学素子31, 32を置く位置にもよるが、ニュートン鏡で数本のところである。代表的な例として仮にパワー成分として発生させる量を数本ということで $1 \mu\text{m}$ とし、レンズの径を200mm、このときのずれ量 $\Delta$ を5mmとすると(4b)式より $3a \times 5 \times 100 \times 100 = 0.001$

となり、

$$a = 6.7 \times 10^{-9}$$

という値が得られる。100は径が200mmなのでその半径の値を示しているが、仮に $b=c=0$ とすると、

(1b)式で非球面の量は

※る。200mmの径のなかで非球面がこのくらいの緩やかな形状をしており、しかも光学素子31, 32が互いに補いあう形(相補形)をしているため、光学素子31と光学素子32の相対位置の変化による収差の発生量はほとんど他の光学性能に影響を与えず、倍率のみを微小修正することができる。

【0255】また、前記実施形態4の構成では一方の光学素子を $x$ 方向に横ずらす方式で説明したが、これ以外に一方を $x$ 方向に $\delta$ 、もう一方を $x$ 方向に $-\delta$ 移動させても良い。この様子を図12に示す。即ち、

☆一面を非球面とする系で説明したが、非球面を両面に設けても良い。この様子を図13に示す。この時、光学素子31, 32の厚みが薄い前提とすれば、これまでの説明で用いた作用効果は単純に加算される。従って全て同一形状の場合は前述の例と同じ光学的パワーの変化を得るためには係数 $a$ の値を半分にできる。また、当然一方を駆動する方式も両方を逆方向に駆動する方式でも採用できる。

【0259】尚、当然ではあるが一組の光学素子を多数組用いても同様の効果が得られる。その一例をして図14に示す。

【0260】 $x$ 方向と $y$ 方向の倍率の差はウェハーのプロセスによるもののほかにも、複数の装置間のディストーションマッチング、複数の露光モードでのディストーションマッチング、あるいはレチクル作成の誤差の補正などに用いることもできる。この場合の倍率の非回転対称(異方性)の補正量も数ppmで、該補正量は露光装置にマニュアルで入力する等の手段でデータがパラメー

タ設定され、該設定されたパラメータに基づいて光学素子31、32の相対位置が不図示の駆動機構により調整され、装置の設定が行われる。勿論パラメータのセッティングは自動計測による値から直接、露光装置側に入力することもできる。

【0261】半導体素子の回路設計がCADでXY座標系で行われることから、これまで説明してきた光軸に直交するx方向とy方向はCADのx方向とy方向と合致することが望ましい。

【0262】一般にx方向とy方向はレチクルの端面の方向と一致しているため、光学素子31と32のx、y方向がレチクルの端面の縦横の辺方向と一致する。このx、y方向はステージ6の移動するxy方向と一致し、グローバルアライメントを行うときに求められるx倍率、y倍率と対応をとることができる。

【0263】グローバルアライメントのときのイントラショット成分は前述のようにウエハーの伸縮がショットの伸縮と同一であるという計算で補正する。この仮定はウエハー全体の伸縮率がウエハー内で一定である、即ち良いリニアリティが保たれているという事実に基づくもので、良い補正結果をもたらすことが確認されている。

【0264】実際、グローバルアライメントで、x方向にsppm、y方向にtppmの伸びが観測された場合には投影光学系が本来持っている公知手段による回転対称な倍率補正手段でtppmを補正し、非回転対称な倍率補正ができるx方向について光学素子31を駆動することで(s-t)ppmを補正するか、または投影光学系が本来持っている対称な倍率補正手段でsppmを補正し、非対称な補正ができるx方向について光学素子31を駆動することで(t-s)ppmを補正すれば良い。

【0265】ここでは非回転対称な倍率(成分)の補正を非球面を有する光学素子を用いて光学素子の位置を可変にしながら制御しており、本実施形態は高機能を要求される半導体素子製造用の投影露光装置のさらなる高機能化に寄与するところが大い。

【0266】本実施形態においては2つの非球面を有する光学素子をずらした差から所望の光学性能を発生させるため、もとの非球面の量、即ち光学素子31、32自体の非球面量は得たい最終形(ずらした差分)よりも一桁近く大きい値となる。上記の例でいえば1 $\mu$ mの値を得るために、6.7 $\mu$ mの非球面が必要とされる。これに傾きの最適化を行って2.6 $\mu$ mまで小さくすることで干渉計の高精度な測定域に入ってくるとというのが本実施形態を適用するに当たってのキーポイントである。非球面の製作に当たっては面が所望する形状に正確に加工されたかを計測できるかというのが重要であるが、本実施形態程度の量に抑えることができれば現行の技術で充分である。

【0267】本実施形態で使用した非球面を有する光学

素子を駆動する指令は前述のように実際のウエハーの計測値に基づいても、マニュアルでも良い。補正はマニュアルの場合はすぐに、またグローバルアライメント時には計測が終了して補正量が計算され露光動作に入る直前に、露光装置全体を制御するCPUから駆動機構に指示が出て行われる。

【0268】図15は本発明の実施形態5の要部概略図である。本実施形態では光軸に対して非回転対称な倍率を補正する機能を有する光学手段T2を投影光学系2とウエハー3との間の光路中に配置しており、図9の実施形態4に比べて、光学手段T2の光路中への挿入位置が異なっており、その他の構成は基本的に同じである。

【0269】それぞれが非球面を有する一対の光学素子より成る光学手段はこのように種々の場所に入れることができるが、挿入位置によっては倍率の補正範囲に制限が加わる場合があるので、これを考慮して挿入位置を決める。

【0270】以上の実施形態4、5では、半導体プロセスに起因した伸縮、装置間のディストーションマッチング、レチクル作成誤差等、投影系の光軸に対して非回転対称な倍率(成分)を調整できるため、半導体素子を作成する際のオーバーレイ精度が格段に向上する。256MDRAMあるいはそれ以降の微細加工時には解像力よりもむしろ位置合わせ精度が制約になるという予測もある中で、従来は補正できない成分として残存していた非回転対称成分を補正できるため、本実施形態の効果は非常に大きい。

【0271】また倍率の補正量が可変であることより、種々の変動にも対応できるため、汎用性に富み、非球面量が小さいために、他の性能に対する影響を無視できる値に抑えたまま倍率のみを制御できるという大きな利点がある。

【0272】図16は本発明の投影露光装置の実施形態6の要部概略図である。本実施形態は通常のステッパー又はスキャンタイプのステッパーである投影露光装置に適用した場合を示している。

【0273】同図において4は露光照明系であり、第1物体としてのレチクル1を照明している。露光照明系4は、ArFエキシマレーザー(波長193nm)又はKrFエキシマレーザー(波長248nm)又はg線(436nm)やi線(波長365nm)を発するランプのうちのいずれか1つの光源と公知の光学系等から構成されている。

【0274】1は第1物体としてのレチクルである。2は屈折型又はカタジオプトリック型等の投影光学系であり、露光照明系4によって照明されたレチクル1の回路パターンを第2物体としてのウエハー(基板)3に投影している。

【0275】T3は像面湾曲を制御する機能を有する光学手段であり、後述するようにそれぞれが非球面を有す

10

20

30

40

50

る2つの光学素子41、42とを有している。光学手段T3は投影光学系2の瞳付近に配置している。5はウエハーホルダーであり、ウエハー3を保持している。6はウエハーステージであり、ウエハーホルダー5を載置しており、xyz駆動及びθ駆動、チルト駆動等を行っている。

【0276】7は干渉用ミラーであり、ウエハーステージ6の位置を不図示の干渉計でモニターするためのものである。干渉計ミラー7と干渉計から得られる信号を用いて不図示のウエハーステージ駆動制御系によりウエハー3を所定の位置に位置決めして、その状態で投影露光を行っている。

【0277】本実施形態が走査型のステッパー（投影露光装置）であるときはレチクル1を載置している不図示のレチクルステージとウエハーステージ6とを投影光学系2の結像倍率に応じた速度比で投影光学系2の光軸と直交する方向へ駆動して走査露光している。

【0278】本実施形態は、光学手段T3を光路中に設けているのが通常のステッパー又は走査型のステッパーと異なっており、その他の構成は基本的に同じである。

【0279】一般に露光用光源としてArFエキシマレーザー（波長193nm）を用いた投影光学系では、ArFエキシマレーザーからの光束の波長が短波長領域にある為、それに使用できる硝材の選択範囲が狭く、現在のところ石英（SiO<sub>2</sub>）と螢石（CaF<sub>2</sub>）があるのみである。

【0280】しかしながら石英もこの短波長領域では透過率の点で問題があり、露光光を吸収して熱変化（光学的変化）を起こし結像性能を変化させる。この事情は露光用光束としてi線（波長365nm）を用いたときに起きている熱変化と同じような状況である。i線では色収差を補正するために種々の硝材を使用するが、この中には透過率の低い硝材も含まれている。

【0281】このためにi線でも熱収差の問題が起こるが、ArFエキシマレーザーを用いた投影光学系ではパターンの微細化が進んで焦点深度が小さくなる分、状況はより厳しくなっている。

【0282】投影光学系の硝材が露光光を吸収したために収差変動が起こるがこのとき起こる収差は球面収差、コマ収差、非点収差、像面湾曲等あらゆる収差がある。これらの収差のうち特に補正が難しいものの1つは像面湾曲である。

【0283】このような像面湾曲の量は実際には僅少であるが、露光するパターンが微細になって焦点深度が小さくなったため、特に問題となってきた。

$$f_a(x, y) = a(3xy^2 + x^3) + b(2xy + x^2) + cx + d_1$$

$$f_b(x, y) = a(3xy^2 + x^3) + b(2xy + x^2) + cx + d_2$$

$$\dots\dots (1c)$$

となる。

【0291】ここで式(1c)においてxとyについて※50

\*【0284】本発明者は実際に発生する像面湾曲量が0.2〜0.3μmのオーダーであるため、補正量が小さく、新たな機能を持った透過型の光学素子を導入して補正することができることを見出した。

【0285】本実施形態の具体的な構成としては投影系の光路中にそれぞれが非球面を持った一対の光学素子より成る光学手段を挿入し、該光学素子の位置関係を光軸と直交する方向に関する位置関係を変えることにより像面湾曲を補正している。

10 【0286】挿入したそれぞれが非球面を有する2つの光学素子は相対的に横ずらしすることによって光学的パワーが可変となり、結果的に光学系全体のベッツバール和を変えて像面湾曲を制御している。特に本実施形態では露光光の吸収によって起こる像面湾曲の変化が小さいことに着目し、小さな非球面量しか持たない光学素子を利用して効果のある像面湾曲補正を行っている。

20 【0287】又本実施形態の光学手段は非球面量の絶対値が小さいため、像面湾曲のみを補正し、他の光学性能に影響を与えないことが可能であるため、収差の補正機能としても好ましい手段である。

【0288】次に本実施形態に係る像面湾曲を補正するための光学手段の具体的な構成について説明する。本実施形態は、2枚の非球面光学素子より成る光学手段を用いて、該2枚の光学素子を一体のものとして考えたときに微小な光学的パワーを有し且つこのパワーが可変であるように構成したことを特徴としている。このための光学的パワー可変の光学手段としては例えば特公昭43-10034号公報に見られるような横ずらしによる光学パワー制御素子を利用している。

30 【0289】図16が示す実施形態6の投影露光装置は、このような光学手段を用いて投影系の像面湾曲を補正している場合を示している。

【0290】次に図16の光学手段T3の構成について説明する。図17は本実施形態の像面湾曲を制御する機能を有した光学手段T3の要部断面図である。同図において互いの非球面が向かい合っ配置されている2つの光学素子41と42は、外側の面41a、42aが平面であり、向き合っている面41b、42b同士が同一の非球面形状を持っている。図中光軸Aに直交する形でx、y軸を取り、互いに向かい合っている非球面の形状として、光学素子41の非球面形状を $f_a(x, y)$ 、光学素子42の非球面形状を $f_b(x, y)$ とし、相対的に位置をずらす方向をx方向とすると、両者の非球面形状は定数項だけ異なる次の式で与えられる。即ち

※対称な形となっていないのは、光学素子41、42がx方向に関して相対位置をずらす素子であるからである。

x方向のずらしによって光学的なパワーを発生させるため、xは3次の項までを用いる。

【0292】初期状態においては非球面形状 $f_a(x, y)$ と非球面形状 $f_b(x, y)$ の凹凸が一致するため、光学素子41と光学素子42はトータルとして光学\*

$$\begin{aligned} f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) \\ = 3a\Delta(x^2 + y^2) + 2b\Delta(x+y) + c\Delta + (d_1 - d_2) \\ + 3a\Delta^2 + b\Delta^2 + a\Delta^3 \quad \dots\dots (2c) \end{aligned}$$

となる。

【0293】ここで $\Delta$ の高次の項の影響は移動量が小さく10として無視し、さらに実施形態の効果を理解し易くす※とすると、(2c)式は簡単に、

$$\begin{aligned} f_a(x+\Delta, y) - f_b(x, y) \\ = 3a\Delta(x^2 + y^2) + (d_1 - d_2) \quad \dots\dots (4c) \end{aligned}$$

となる。

【0294】(4c)式が $(x^2 + y^2)$ の項を持っていることが本実施形態の根幹である。このため横ずらし量 $\Delta$ によって光学素子41、42は光軸に対して回転対称なパワーを持つ光学素子となり、しかもそのパワーを横ずらし量 $\Delta$ によって自由に制御することが可能である。

【0295】ずらして差分をとるという作業は微分そのものなので、非球面の形状として3次の項を入れておき、微分の効果でパワーを与える2次の成分を出しているのが光学素子41、42の作用である。

【0296】本実施形態では簡単のため(3c)式で $b=c=0$ としたが、(2c)式の $2b\Delta(x+y)$ の項はシフト分に相当する。 $b \neq 0$ の場合でも $\Delta$ はパワーを制御する目的から既知の量となるため、シフト分については補正を行うことができる。具体的にシフトが問題となるのはアライメントを行うときである。グローバルアライメントではベアの光学素子41、42の相対関係を調整した結果生じるシフトを逆補正するようにステージに指令を与えれば、この問題は回避される。

【0297】また定数 $c$ の項に適当な値を与えれば $f_a(x, y)$ 、 $f_b(x, y)$ で表わされる非球面の平面からのずれの絶対値を小さくできる効果がある。従って★

$$6.7 \times 10^{-9} \times 100 \times 100 \times 100 = 6.7 \times 10^{-3}$$

という値となり、 $\pm 6.7 \mu\text{m}$ の非球面量をもととの光学素子41、42が持っていたことになる。

【0301】平面からの実際のずれ量を小さくするにはこれに定数 $c$ の項を加えるとよい。100mmのところでは $6.7 \mu\text{m}$ の値を与える定数 $c$ の値は $6.7 \times 10^{-5}$ なので、定数 $a$ と定数 $c$ を逆符号として $c = -6.7 \times 10^{-5}$

とすると非球面量の平面からのずれは $y=0$ の断面で $\pm 2.6 \mu\text{m}$ にまで減少させることができる。

【0302】図17は定数 $c$ がゼロのときの非球面の形状、図18は定数 $c$ に上記の値を入れたときの $y=0$ の断面での形状である。200mmの径の中で非球面が緩やかな形状をしており、しかも光学素子41と光学素子☆50

\*的パワーがなく、平行平板としての働きをするに過ぎない。光学素子41と光学素子42の間の距離は小さいほどよく例えば100 $\mu\text{m}$ 程度の値が典型的である。ここで光学素子41を $\Delta$ だけx方向に動かした場合を想定する。このときの影響は $a, b, c$ を定数とすると

※るため、

$$b=c=0 \quad \dots\dots (3c)$$

とすると、(2c)式は簡単に、

★定数 $a$ の値によっては定数 $b, c$ をゼロにせず、故意に値を与えることも効果的である。実際には非球面量の値を小さく抑えるためには定数 $b$ はゼロとし、定数 $c$ に定数 $a$ と逆符号の値を与えることが行われる。

【0298】また非球面の絶対量は加工よりむしろ計測時に問題であり、 $c$ の影響は計測ビームを傾けることでキャンセルできるので $c=0$ でも構わない。

【0299】一般に像面湾曲が0.2~0.3 $\mu\text{m}$ 前後の小さな値を補正するために要求される非球面の量の絶対値は非常に小さい。実際に有効な量は光学素子41、42を置く位置にもよるがニュートン縞で数本のところである。代表的な例として仮にパワー成分として発生させる量を数本ということで1 $\mu\text{m}$ とし、レンズの径を200mm、このときの横ずらし量 $\Delta$ を5mmとすると(4a)式より、

$$3a \times 5 \times 100 \times 100 = 0.001$$

となり、

$$a = 6.7 \times 10^{-9}$$

という値が得られる。

【0300】100は径が200mmなのでその半径の値を示しているが、仮に $b=c=0$ とすると、(1c)式で $y=0$ の断面での非球面の量は

☆42が互いに補いあう相補形をしているため、光学素子41と光学素子42の相対位置の変化による他の収差の発生量はほとんど他の光学特性に影響を与えず、像面湾曲のみを微小修正することができる。場合によっては他の光学特性について多少の微小補正を装置側で加える必要がある場合があるが、投影系全体としての性能変化はない。

【0303】このように、像面湾曲変動の補正を非球面を用いて補正量を可変にしながら制御するこれにより、本実施形態は高機能を要求される半導体素子製造用の投影露光装置の更なる高機能化に寄与するところが大きい。

【0304】また、補正すべき像面湾曲量が小さいた

め、使用する非球面は干渉計で計測することが容易な量にまで小さくすることが本実施形態のもう一つのポイントである。

【0305】本実施形態においては2つの非球面のずらした差から所望の光学特性を発生させるため、もとの非球面の量、即ち光学素子41及び光学素子42自体の非球面量は得たい最終形(差分)よりも一桁近く大きい値となる。上記の例でいえば1 $\mu$ mの値を得るために6.7 $\mu$ mの非球面が必要とされる。これに傾きの最適化を行って $\pm 2.6\mu$ mまで小さくすることで干渉計の高精度な測定域に入ってくるというのが本実施形態を適用するに当たってのキーポイントである。非球面の製作に当たっては面が所望する形状に正確に加工されたかの確認が重要であるが、本実施形態程度の量に抑えることができれば現行の技術が充分適用できる。

【0306】また本実施形態では光学的パワーの調整を屈折作用をもつ光学素子で実現できたことで半導体素子製造用の投影露光装置に用いられる屈折型、カタジオトリック型の双方に対し有効な手段を提供できることも大きな利点である。

【0307】光学素子41, 42の非球面間の相対位置を調整する不図示の駆動機構は、予め投影露光装置本体のCPUに記憶されている露光像面(湾曲)特性の設定によって指示され駆動される。この場合予め実験、あるいはシミュレーションによって露光像面(湾曲)の特性が装置に記憶されており、露光量、レチクルのパターン率、露光エネルギーなどから露光に伴う像面湾曲変化量や像面湾曲量が計算され、ウエハステージが制御される。また別の方法として、このようなアプリオリの特性からではなくて、投影光学系の特性を計算しながら駆動量を制御する方法も適用することができる。露光に伴う像面湾曲変化量や像面湾曲量は露光によるフォーカス変化と深い相関を持っており、露光に伴うフォーカス変化量やフォーカス位置をモニタして像面湾曲量を換算しながら駆動量を算出することも適用することができる。

【0308】勿論、直接、像面湾曲を測定して、その値を光学素子41, 及び/又は光学素子42の駆動量にフィードバックしてもよい。

【0309】また、前記実施形態6では一方の光学素子をx方向にずらす方式で説明したが、これ以外に一方をx方向に $\delta$ 、もう一方をx方向に $-\delta$ 移動させても良い。この様子を図19に示す。

【0310】即ち

$$\begin{aligned} f a(x+\delta, y) - f b(x-\delta, y) \\ = 2a[3\delta(x^2+y^2) + \delta^3] \\ + 2b\delta(2y^2+1) + 2c\delta + d_1 - d_2 \end{aligned}$$

であるから、先程と同様に、

$$b=c=0, |\delta| \approx 0$$

とすると、

$$f a(x+\delta, y) - f b(x-\delta, y) \approx$$

$$6a\delta(x^2+y^2) + d_1 - d_2$$

となる。

【0311】従って、仮に $\Delta=\delta$ とすると光学的パワーの変化量は2倍になる。あるいは、 $\Delta=\delta$ にすると同じパワー変化を得るために係数(定数)aの値を半分にする。これは非球面量を半減することにつながり、非球面の形状の評価を容易にする効果をもたらす。更に $\Delta=\delta$ にすると、同じ光学的パワー変化を得るためのずらし量を半分にする。これは駆動系に設けるスペースや位置決め精度に有利になる。

【0312】更に前記実施形態6の構成では光学素子の一面を非球面とする系で説明したが、これを両面に設けても良い。この様子を図20に示す。この時、光学素子41, 42の厚みが薄い前提とすれば、これまでの説明で用いた作用効果は単純に加算される。従って、すべて同一形状の非球面の場合は前述の例と同じ光学的パワー変化を得るためには係数aの値を半分にする。また、当然一方を駆動する方式も両方を逆方向に駆動する方式でも採用できる。

【0313】尚、当然ではあるが一組の光学素子を多数組用いても同様の効果が得られる。その一例を図21に示す。

【0314】図22は本発明の実施形態7の要部概略図である。本実施形態では光学手段T3を投影光学系2とウエハ3との間の光路中に配置しており、図16の実施形態6に比べて光学手段T3の光路中への挿入位置が異なっており、その他の構成は同じである。

【0315】本実施形態においては投影光学系2とウエハ3との間に上述のそれぞれが非球面を有した一対の光学素子より成る光学手段T3を入れて像面湾曲の補正を行っている。光学手段T3自体の作用は前述の実施形態6のとおりである。光学手段T3を挿入する位置は、本実施形態のように瞳面近傍付近以外でも、投影光学系の構成に応じて適宜設定することが可能である。

【0316】光学手段T3の好ましい配置位置としては、上記の瞳面近傍及び投影光学系とウエハの間以外にはレチクルと投影光学系の間がある。

【0317】というのも前記3箇所は、収差コントロールの際、独立性が高く、好都合であるからである。

【0318】実施形態6, 7で像面湾曲を補正する際、ベストフォーカスの設定値が微小量変化するが、非球面光学素子の駆動量から、その量が計算でき、既知量となるので、この量を投影露光装置内のCPUで求めて投影光学系の光軸方向に対するウエハ位置の制御値に反映させれば問題がない。その他の光学性能、例えば倍率への影響も同様に、非球面光学素子の駆動量から倍率変化量が計算でき、既知量となるので、補正可能である。従って本実施形態の光学手段T3の導入による他の光学性能への影響をほとんど無視しうるくらい小さく抑えることができる。

【0319】像面湾曲の発生量が可変であることより、種々の変動にも対応できるため、汎用性に富み、非球面量が小さいために他の光学性能に対する影響を無視できる値に抑えたまま像面湾曲のみを制御できることも大きな利点となっている。

【0320】尚、本発明においては軸上非点収差を制御する機能を有する光学手段T1、非回転対称な倍率を制御する機能を有する光学手段T2、そして像面湾曲を制御する機能を有する光学手段T3のうちから、少なくとも2つの光学手段を選択して、各々独立に又は合体したような構成の光学手段を光路中に配置し(図8の実施形態3の光学手段T13は光学手段T1と光学手段T3とを選択したものに相当)、軸上非点収差、非回転対称な倍率、そして像面湾曲のうちの2つ又は3つを補正するようにしても良い。

【0321】図23は本発明の実施形態8を示すもので、半導体製造用投影露光装置であるところの通常のステッパーやスキャンタイプのステッパーの投影光学系に3次のディストーション補正を行う2枚一組の非球面光学素子を投影光学系とレチクルの間に挿入した例である。ここで3次のディストーションとは倍率成分と光学の解説書などで樽型や糸巻型と呼ばれる3次特性をもつディストーション成分であると定義する。

【0322】ディストーションについては倍率と3次のディストーションを制御する方法については公知の手段がある。例えば投影光学系の複数の素子を光軸方向に移動させる、投影光学系の光学素子間に封入されている気体の圧力を変えるなどの手法である。倍率は光学系の基本量であり、他の収差に変動を与えずに変化させることが可能であるが、3次のディストーションの補正については補正に伴う他の収差の変化や、調整範囲が少ない等の問題があり、設計当初から補正を考慮した設計を行う必要がある。

【0323】特に昨今、変形照明法あるいは位相シフトマスクなどの像改良という名で総称される各種の結像法が採用されると、各結像法同士でのディストーションのマッチングが問題となる。このマッチングの誤差は光学系の加工誤差等から発生するものが主である。この場合3次のディストーションまで補正することは基本的な要求となる。ここでは設計に与える制約を最小限として、該3次のディストーションの補正、制御を自在に行うとともに、それに伴って起こる他性能への影響を最小限に抑えることを特徴とした光学系を提供する。

【0324】本実施形態はとくにスキャン型のステッパーに関するもので、投影光学系内、例えば最もレチクル側に近いところに2枚一組の非球面光学素子を挿入し、該2枚の非球面素子の少なくとも一方を光軸と直交する方向にずらして両素子の位置関係を調整することによって走査方向と直交する方向についての投影光学系の3次のディストーションを補正することを可能としたことを

特徴としている。

【0325】本発明では前記横ずらしの方向を走査方向と直交する方向に一致させることによって走査型露光装置に生じる問題となる3次のディストーションを補正することを特徴としている。

【0326】本発明を適用する投影光学系は屈折型のものでカタジオプトリック系でもよく、また該投影光学系は倍率を制御する手段を備えている。

【0327】変形照明、位相シフトマスクなど種々の新しい結像法が混在して使用されるようになると各結像法相互間でのディストーションのマッチングが問題となる。

【0328】スキャン型の露光装置の場合にはxとy方向の倍率差は同期して走査されるレチクルとウェハの夫々の速度の比を調節することによって容易に補正することができるので、2枚の非球面素子による3次ディストーション成分の補正は走査方向と直交する方向で行われる。

【0329】本実施形態では簡単な光学素子の挿入によって、設計上、あるいは補正範囲に制約のあった3次のディストーションを自由に制御し、マッチング精度を向上させる。このため光学的に補正の容易な倍率成分については公知の方法、例えば投影光学系の1部の素子を光軸方向に移動する、あるいは光学系内の圧力を制御するといったを使用し、3次のディストーション成分についての補正を行う。

【0330】続いて3次のディストーションを発生、制御するための光学系の構成について説明する。前記実施形態のように2枚一組の光学素子より成る光学手段を用いて投影光学系に3次のディストーションを発生させる。

【0331】図23はスキャン型の露光装置の主要部を表わしたもので、1はレチクル、2は投影光学系、3はウェハ、4は照明光学系、5はウェハホルダ、6はステージ、7は6のステージを制御するために載置されたレーザ干渉計用のミラーである。走査型であるので、レチクルとウェハが同期して走査され、レチクル上のパターンがウェハ上に転写される。図23の構成は通常のスキャン型のステッパーと同一の構成であるが、本実施例で異なっているのは51、52で示されている3次のディストーションの調整を行う光学素子T4の存在である。

【0332】図24はその詳細である。互いに向かい合って配置されている光学素子51と52は、夫々外側の面が平面であり、向き合っている面同士が同一の非球面形状を持つ対となった非球面素子である。図中光軸Aに直交する形でx、y軸を取り、y方向を装置の走査方向と一致させる。互いに向かい合っている非球面の形状で51の方を $f_a(x, y)$ 、52の方を $f_b(x, y)$ とすると、両者は定数項だけが異なる同一のxの5次式



53

で与えられる。即ち

$$fa(x,y) = ax^5 + b_1$$

$$fb(x,y) = ax^5 + b_2 \quad (1d)$$

(1d)で走査方向のyの項が無いのは2枚の非球面素子より成る光学手段に投影光学系に対し走査方向y方向と直交するx方向にのみ光学的な特性を与えるためである。

走査を行うy方向については走差による平均化のため高次のディストーションがキャンセルされるため、本実施形態では3次のディストーションを制御するのはx方向のみでよい。51と52は互いにx方向に関する相対位

置をずらすことによって用いられるが、横ずらしによつて

$$\begin{aligned} fa(x + \Delta, y) - fb(x, y) \\ = 5a\Delta x^4 + 10a\Delta^2 x^3 + 10a\Delta^3 x^2 + 5a\Delta^4 x + (b_1 - b_2) \end{aligned}$$

..... (2d)

ここでΔの高次の項は移動量が小さいとして無視する ※ ※と、(2d)式は簡単となって、

$$fa(x + \Delta, y) - fb(x, y) = 5a\Delta x^4 + (b_1 - b_2)$$

..... (3d)

となる。(3d)式が xの4乗の項を持っていることが本発明の根幹である。このためずらし量Δによって光学素子51, 52はx方向にのみに4次の特性をもつ素子となり、しかもその特性を横ずらし量Δを変えることによって自由に制御(変更)することが可能であることが特徴である。

【0334】ずらして差分をとるという作業は微分そのものなので、非球面の形状として7次を入れておき、微分の効果で4次の成分を出しているのが光学素子51と52の作用である 前述のマッチングのために小さなディストーションの値を補正するために要求される非球面の量の絶対値は非常に小さい。代表的な例として仮に所望のディストーションを発生させるための非球面量を1μmとし、レンズの径を200mm、このときのずらし量Δを5mmとすると(3d)より

$$5a \times 5 \times 10^{-8} = 0.001$$

となり、

$$a = 4.00 \times 10^{-13}$$

という値が得られる。100 は径が200mmなので半径の値を示している。従って(1d)式より非球面の量は

$$4.00 \times (10^{-13}) \times (10^{-10}) = 4.00 \times 10^{-23}$$

という値となり、±4.00μmの非球面量をもととの光学素子51, 52が持っていたことになる。平面からのずれの実際量を小さくするにはこれにxの1次の項であるcxの項を加えるとよい。100mmのところで4.00μmの値を与えるcの値は4.00×10<sup>-5</sup>なので、aとcを逆符号として

$$c = -2.86 \times 10^{-5}$$

とすると非球面量の平面からのずれは±2.14μmにまで減少させることができる。200mmの径のなかで非球面がこのくらいの緩やかな形状をしており、しかも光学素子51と52の非球面形状が互いに補いあう相補形をしているため、光学素子51と52の相対位置の変化による

54

\*て3次のディストーションを発生させるため、非球面の形状としてはxの5次の項が必須である。

【0333】初期状態においては非球面形状fa(x,y)は非球面形状fb(x,y)と凹凸が一致してキャンセルするため、光学素子51, 52はトータルとして光学的パワーがゼロであり、平行平板板としての働きをするに過ぎない。光学素子51と52の間の距離は小さいほどよく例えば100μm程度の値が典型的である。ここで素子51をΔだけx方向に動かした場合を想定する。このときの影

響は

☆収差の発生量はほとんど投影光学系の他の光学特性に影響を与えず、3次のディストーションのみを修正することができ

【0335】本実施形態では3次ディストーションの補正方向を装置の走査方向と直交する方向としたことが特徴であるが、補正量が小さいことや及びずらし量の絶対値を適当に選べることにより、使用する非球面が干渉計で計測することが容易な量にまで小さくできる。本発明においては2つの非球面のずらした差から所望の光学特性を発生させるため、もとの非球面の量、即ち光学素子51及び52自体の非球面量は得たい最終形よりも大きい値となる。上記の例でいえば1μmの非球面量を得るために夫々の光学素子に4.00μmの非球面が必要とされる。

【0336】これに傾きの最適化を行えば2.14μmまで小さくなり、干渉計の高精度な測定域に入ってくる。非球面の製作に当たっては面が所望する形状に正確に加工されたかを計測できるかというのが重要であるが、本発明程度の量に抑えることができれば現行の技術で充分である。この値をさらに小さくするためにはここで5mmに設定したずらし量をさらに大きな値とすればよい。

【0337】少なくとも1つの非球面の光学素子の駆動の指令は予め装置に記憶された手順に従って変更してもよいし、実際のウェハの計測値に基づいて行ってもよい。たとえば照明モードあるいはNAの違いによって3次のディストーションが変化する場合には、予め変化量を記憶しておいて、照明モードやNAを変更したときに前述の非球面光学素子の横ずらしを行えばよい。このときには同時に倍率成分も公知の補正手段により補正が行われる。

【0338】またこのように最初から設定しておくのではなくて、ディストーションの計測できるレチクルを用いて画面内のディストーション成分を分析し、その値に



55

基づいて倍率成分と3次のディストーション成分をそれぞれ補正してもよい。この場合の計測は装置上で自動的に行ってもよいし、一旦レチクルの像をウエハー上に焼き付けてから計測するオフライン的なものでも構わない。

【0339】図25は本発明を実施した半導体露光装置の実施形態9である。実施形態8と異なるのは3次のディストーションの制御を行う光学手段T4を構成する2枚の光学素子51、52がウエハーと投影光学系の間に設けられていることである。その他の作用は前述の実施形態とほぼ同じである。

$$\begin{aligned} g_a(x, y) &= a(x^5 + 5x^4y) + b_1 \\ g_b(x, y) &= a(x^5 + 5x^4y) + b_2 \end{aligned}$$

とする。初期状態においては非球面  $g_a(x, y)$  は非球面  $g_b(x, y)$  と凹凸が一致してキャンセルするため、光学素子51と光学素子52はトータルとして光学的パワーがゼロであり、平行平板板としての働きをするに過ぎない。※

$$g_a(x + \Delta, y) - g_b(x, y) = 5a\Delta(x^4 + y^4) + (b_1 - b_2)$$

となる。(5d)式が  $x^4 + y^4$  の項を持っていることが本発明の根幹である。このためずらし量  $\Delta$  によって光学素子51、52より成る光学手段は回転対称に4次の特性をもつ光学素子となり、しかもその特性を横ずらし量  $\Delta$  によって自由に制御することが可能であることが特徴である。

【0342】ずらして差分をとるという作業は微分そのものなので、非球面の形状として7次を入れておき、微分の効果で4次の成分を出しているのが光学素子51と52の作用である。これにより3次のディストーションを自由に制御することができる。なお光学素子51と52の挿入位置については前記実施形態と同様に、投影光学系とレチクルの間、あるいは投影光学系とウエハーの間等が考えられる。また、場合によっては投影光学系の中に本素子を組み込むことも可能である。

【0343】また実施形態8、9の説明と同様に、片一方の光学素子のみを動かすのではなく、他の実施形態で説明したように光学素子51、52を光軸に対称に(逆方向に)動かす構成としても良い。

【0344】図26は本発明の投影露光装置の実施形態10の要部概略図である。本実施形態は通常のステッパー又はスキャンタイプのステッパーである投影露光装置に適用した場合を示している。

【0345】同図において4は露光照明系であり、第1物体としてのレチクル1を照明している。露光照明系4は光源として、ArFエキシマレーザー(波長193nm)又はKrFエキシマレーザー(波長248nm)、又はi線(波長365nm)を発するランプを用いるもので、公知の光学系から構成されている。

【0346】1は第1物体としてのレチクルである。2☆50

56

\*【0340】これまでの実施形態8、9の説明式では対向して置かれた2つの非球面光学素子の一方のみを動かして所望の特性を得る場合を示したが、両者の相対的な動きはこれに限るものではなく、光軸に対して双方を対称にたとえば上の光学素子51を右に $\Delta$ 、下の光学素子52を左に $\Delta$ 動かすような動きにしてもよい。

【0341】ここまでは3次のディストーション補正を走査方向に直交する方向についてのみ行っていたが、走査スリットの幅が大きくなった場合や、ステッパーに適用する場合には非球面の形状を

..... (4d)

※光学素子51と52の間の距離は小さいほどよく例えば100 $\mu$ m程度の値が典型的である。ここで素子51を $\Delta$ だけx方向に動かした場合を想定する。このときの影響は $\Delta$ の高次の項の影響が小さいとして無視すると、

..... (5d)

☆は屈折型又はカタジオプトリック系等の投影光学系であり、露光照明系4によって照明されたレチクル1の回路パターンを第2物体としてのウエハー(基板)3に投影している。

【0347】T5は高次のディストーションを制御する機能を有する光学手段であり、後述するように非球面を有する2つの光学素子61、62とを有しており、各光学素子61、62の位置関係を光軸と直交する方向に少なくとも1つの素子をずらして変化させ、例えば走査と直交する方向に素子をずらしてこの方向について高次のディストーションを補正している。光学手段T5はレチクル1と投影光学系2の間の光路中に配置している。5はウエハーホルダーであり、ウエハー3を保持している。6はウエハーステージであり、ウエハーホルダー5を載置しており、xyz駆動及び $\theta$ 駆動、チルト駆動等を行っている。

【0348】7は干渉用ミラーであり、ウエハーステージ6の位置を不図示の干渉計でモニターするためのものである。干渉計ミラー7と干渉計から得られる信号を用いて不図示のウエハーステージ駆動制御系によりウエハー3を常に所定の位置となるように位置決めして、これより露光を行っている。

【0349】本実施形態が走査型の投影露光装置であるときはレチクル1を載置している不図示のレチクルステージとウエハーステージ6とを投影光学系2の結像倍率に応じた速度比率で光軸Aと直交する方向へ駆動して走査露光している。

【0350】本実施形態では光学手段T5を光路中に設けているのが通常のステッパー又は走査型のステッパーと異なり、その他の構成は基本的に同じである。

【0351】図26の実施形態では、高次のディストーション補正を行う2枚一組の夫々が非球面を有する光学素子より成る光学手段T5を投影光学系2とレチクル1との間に挿入している。

【0352】ここで高次のディストーションとは、倍率成分と光学の解説書などで樽型や糸巻型と呼ばれる像高の値に対して3次特性をもつ成分までを除いた、4次以上のより高次のディストーション成分と定義する。

【0353】本実施形態を適用する投影光学系は屈折型のものでもカタジオプトリック系でもよく、また該投影光学系は予め倍率と3次のディストーションを制御する機能を備えている。倍率及び3次のディストーションの制御手段としては、例えば投影光学系内の光学素子（レンズ等）を光軸方向に移動させる手法や投影光学系の一部の空間内の圧力を制御する手法などの公知手段が知られており、これらはいずれも本実施形態に適用可能である。しかしながらこれらの手段は倍率と3次までの低次のディストーション成分を制御するもので、高次のディストーション成分を制御することはできない。

【0354】しかしながら前述のとおり、変形照明、位相シフトマスクなど種々の新しい結像法が混在して使用されるようになると各結像法相互間でのディストーションのマッチングが問題となる。このマッチングの誤差は光学系の加工誤差などから発生するものが主である。

【0355】本発明者の行ったマッチングの誤差解析によると、倍率と3次のディストーションを補正した場合、誤差の主成分は高次のディストーション成分と、互いに直交するx方向とy方向の倍率差の2つが主であることが判明した。スキャン型の露光装置の場合にはこのような2方向の倍率差は同期走査の時の速度比を調節することによって容易に補正することができる。しかしながら高次の成分を調節することは普通の光学系では困難であった。これは単純に光学素子を光軸方向に動かしたり空間内の圧力を制御するだけでは3次のディストーション成分までが変わるだけで、5次以上の高次成分はほとんど変化しないという事実に基づいている。

【0356】しかしながら焦点深度の拡大や、より微細なパターンの解像を目指して変形照明や位相シフトマスクなどの新しい結像法を用いると、用いた結像法の数に付随して高次のディストーションの値も変化する。従って高次の値を自由に制御するというのはマッチングの精度を向上させるための必須要件となってきた。

【0357】そこで本実施形態10では従来の投影光学系では発生量をコントロールするのが困難であったこの高次のディストーションを非球面より成る光学素子を用いて自由に制御し、マッチング精度を向上させている。\*

$$fa(x + \Delta, y) - fb(x, y)$$

$$= 7a\Delta x^6 + 21a\Delta^2 x^5 + 35a\Delta^3 x^4 + 35a\Delta^4 x^3$$

$$+ 21a\Delta^5 x^2 + 7a\Delta^6 x + \Delta^7 + (b_1 - b_2) \cdots (2e)$$

ここで $\Delta$ の高次の項は移動量が小さいとして無視する ※50※と、(2e)式は簡単となつて、

\*【0358】このため本実施形態では倍率成分、及び3次のディストーション成分については公知の方法、例えば投影光学系の1部の光学素子を光軸方向に移動する、レチクルを光軸方向に移動する、あるいは光学系内の圧力を制御するといった方法を使用し、さらに高次の成分については光学手段T5を用いて補正するようにしている。

【0359】続いて高次のディストーションを発生、制御するための光学手段T5の構成について説明する。

10 【0360】本実施形態では2枚一組の光学素子より成る光学手段T5を用いて投影光学系2に高次のディストーションを発生させることを特徴としている。このための光学素子としては例えば特公昭43-10034号公報に開示されているような光学素子を適用している。

【0361】図29は本実施形態の光学手段T5の要部概略図である。本実施形態の光学手段T5の互いに向かい合って配置されている光学素子61と62は、それぞれ外側の面が平面であり、向き合っている面同士が同一の非球面形状を持っている。

20 【0362】図中光軸Aに直交する形でx、y軸を取り、y方向を装置の走査方向と一致させている。互いに向かい合っている非球面の形状で光学素子61の方を $fa(x, y)$ 、光学素子62の方を $fb(x, y)$ とすると、両者は定数項だけ異なるxの同一の7次式で与えられる。即ち

$$fa(x, y) = ax^7 + b_1$$

$$fb(x, y) = ax^7 + b_2 \quad \cdots \cdots (1e)$$

(1e)式で走査方向のyの項が無いのは光学手段T5に投影光学系に対し走査方向y方向と直交するx方向にのみ光学的な特性を与えるためである。走査を行うy方向については走査による平均化のため高次のディストーションがキャンセルされるため、本実施形態で高次のディストーションを制御するのはx方向のみでよい。光学素子61と62はx方向に少なくとも一方をずらして同方向に関する相対位置を変化させることによって用いられるが、ずらしによって高次のディストーションを発生させるため、非球面の形状としてはxの7次以上の項が必須である。

【0363】初期状態においては非球面 $fa(x, y)$ は非球面 $fb(x, y)$ と凹凸が一致してキャンセルするため、光学素子61と62はトータルとして光学的パワーがゼロであり、平行平板としての働きをするに過ぎない。光学素子61と62の間の距離は小さいほどよく例えば100 $\mu m$ 程度の値が典型的である。ここで光学素子61を $\Delta$ だけx方向に動かした場合を想定する。

このときの影響は

$$fa(x+\Delta, y) - fb(x, y) = 7a\Delta x^6 + (b_1 - b_2) \dots (3e)$$

となる。

【0364】(3e)式が $x^6$ の項を持っていることが本実施形態の根幹である。このため横ずらし量 $\Delta$ によって光学素子61, 62はx方向にのみに6次の特性をもつ光学素子となり、しかもその特性をずらし量 $\Delta$ によって自由に制御することが可能である。

【0365】ずらして差分をとるという作業は微分そのものなので、非球面の形状として7次を入れておき、微分の効果で6次の成分を出しているのが光学素子61と62の作用である。

【0366】前述のマッチングのために小さなディストーションの値を補正するために要求される非球面の量の絶対値は非常に小さい。代表的な例として仮に所望のディストーションを発生させるための非球面量を $1\mu\text{m}$ とし、レンズの径を $200\text{mm}$ 、このときの横ずらし量 $\Delta$ を $5\text{mm}$ とすると(3e)式より

$$7a \times 5 \times 10^{12} = 0.001$$

となり、

$$a = 2.86 \times 10^{-17}$$

という値が得られる。

【0367】100は径が $200\text{mm}$ なので半径の値を示している。従って(1e)式より非球面の量は

$$2.86 \times (10^{-17}) \times (10^{14}) = 2.86 \times 10^{-3}$$

という値となり、 $\pm 2.86\mu\text{m}$ の非球面量をもととの光学素子61, 62が持っていたことになる。

【0368】平面からのずれの実際量を小さくするにはこれにxの1次の項であるcxの項を加えるとよい。 $100\text{mm}$ のところでは $2.86\mu\text{m}$ の値を与えるcの値は $2.86 \times 10^{-5}$ なので、aとcを逆符号として

$$c = -2.86 \times 10^{-5}$$

とすると非球面量の平面からのずれは $\pm 1.77\mu\text{m}$ にまで減少させることができる。

【0369】図27はcがゼロのときの非球面の形状、図28はcに上記の値を入れたときの形状である。 $200\text{mm}$ の径のなかで非球面がこのくらいの緩やかな形状をしており、しかも光学素子61と62の非球面が互いに補いあう相補形をしているため、光学素子61と62の相対位置の変化による収差の発生量はほとんど他光学特性に影響を与えず、高次のディストーションのみを修正することができる。

【0370】本実施形態では高次のディストーションの補正方向を装置の走査方向と直交する方向としたことが特徴であるが、補正量が小さいこと、及びずらし量の絶対値を適当に選べることにより、使用する非球面が干渉計で計測することが容易な量にまで小さくできることが本実施形態のもう一つのポイントである。

【0371】本実施形態においては2つの非球面をずらした差から所望の光学特性を発生させるため、もとの非球面の量、即ち光学素子61及び62自体の非球面量は\*

\*得たい最終形(差分)よりも大きい値となる。上記の例でいえば $1\mu\text{m}$ の値を得るために $2.86\mu\text{m}$ の非球面が必要とされる。これに傾きの最適化を行えば $1.77\mu\text{m}$ まで小さくなる。これらの値が干渉計の高精度な測定域に入ってくるというのが本実施形態を適用するに当たってのキーポイントである。

【0372】非球面の製作に当たっては面が所望する形状に正確に加工されたかを計測できるかというのが重要であるが、本実施形態程度の量に抑えることができれば現行の技術で充分である。この値をさらに小さくするためには $5\text{mm}$ に設定したずらし量をさらに大きな値とすればよい。

【0373】非球面の光学素子の駆動のための指令は予め装置に記憶された手順(データ)に従って変更してもよいし、実際のウェハーの計測値に基づいて行ってもよい。たとえば照明モードあるいはNAの違いによって高次のディストーションが変化する場合には、予め変化量を記憶しておいて、照明モードやNAを変更したときに前述の非球面光学素子の横ずらしを行えばよい。このときには同時に高次のディストーションより低次のディストーション成分、たとえば3次のディストーションや倍率成分も公知の補正手段により補正が行われる。

【0374】またこのように最初から設定しておくのではなくて、ディストーションの計測できるレチクルを用いて画面内のディストーション成分を分析し、その値に基づいて倍率から高次にいたるまでのディストーションをそれぞれ補正してもよい。この場合の計測は装置上で自動的に行ってもよいし、一旦レチクルの像をウェハー上に焼き付けてから計測するオフライン的なものでも構わない。

【0375】図29は本発明の実施形態11の要部概略図である。本実施形態は図23の実施形態10に比べて光学手段T5を投影光学系2とウェハ3との間に設けている点が異なっているだけであり、その他の構成は同じである。

【0376】これまでの実施形態10, 11の説明式では対向して置かれた2つの非球面より成る光学素子の一方のみを動かして所望の特性を得る場合を示したが、両者の相対的な動きはこれに限るものではなく、光軸に対して双方を対称に(逆方向に)たとえば上の光学素子11を右に $\Delta$ 、下の光学素子12を左に $\Delta$ 動かすような動きにしてもよい。

【0377】また実施形態中においては高次のディストーションとして5次のディストーションまで考えたが、さらに高次の特性まで考えるときには非球面の形状としてさらに高次の項、例えば9次あるいはそれ以上の項を加えた形状にしてもよい。

【0378】以上述べてきたように実施形態10, 11では従来より補正できなかった高次のディストーション

61

成分を投影露光装置で可変補正することを可能としている。この結果、照明モードやNAの変化に伴うディストーションの変化や装置間のディストーションマッチング、レチクル作成誤差等、従来より補正できなかった高次のディストーション成分を可変で調整できる為、デバイス（半導体）を作成する際のオーバーレイ精度が格段に向上する。256MDRAMあるいはそれ以降の微細加工時には解像力よりもむしろ位置合わせ精度が制約になるという予測もあるなかで、従来より補正できない成分として残存していた高次成分を補正できるため、本実施形態10, 11の効果は非常に大きい。

【0379】また高次ディストーション成分が可変であるため、種々の変動にも対応でき、非球面量が小さいために他性能に対する影響を無視できる値に抑えることができるということも大きな利点である。

【0380】また、本実施形態10, 11では高次ディストーションを発生させる方向を走査型の投影露光装置の走査方向と直交する方向とした。走査方向に平均化の\*

$$ga(x+\Delta, y) - gb(x, y) = 7a\Delta(x^6 + y^6) + (b_1 - b_2)$$

となる。(5e)式が  $x^6 + y^6$  の項を持っていることが本発明の根幹である。このためずらし量  $\Delta$  によって光学素子61, 62より成る光学手段T5は回転対称に6次の特性をもつ光学系となり、しかもその特性を横ずらし量  $\Delta$  によって自由に制御することが可能であることが特徴である。

【0382】ずらして差分をとるという作業は微分そのものなので、非球面の形状として7次を入れておき、微分の効果で6次の成分を出しているのが光学素子61と62の作用である。これにより高次のディストーションを自由に制御することができる。なお光学素子61と62の挿入位置については前記実施形態と同様に投影光学系とレチクルの間、あるいは投影光学系とウエハーの間等が考えられる。また、場合によっては投影光学系の中に本素子を組み込むこともできる。

【0383】光学素子61の一方だけでなく、光学素子61と62を光軸に関して対称に（逆方向に）動かす構成としても良い。

【0384】以上述べた様に、本発明では同一の形状式で表わされる2つの面を対向して配置し、両者を互いに所望の量だけ横ずらして、所望の光学特性を得ることを特徴としている。2つの面は横ずらし0の基準状態においては互いに補いあって、光学特性を持たず、横ずらした状態で該ずらし方向に対する微分効果で発生する光学特性を持つ。

【0385】即ち光学系の光軸に対して垂直な平面上に取った直交座標系  $(x, y)$  において、横ずらしする方向を  $x$  方向とすると、本発明の面形状  $p(x, y)$  は  $p(x, y) = ax^n$  という項を持つことを特徴としている。  $n$  が3のときは※50

62

\* 効果の無い方向で、ディストーションを補正できることでシステム全体のバランスが向上し、トータルとしての位置合わせ精度に大きく寄与する効果も持たせることができる。

【0381】ここまでは高次のディストーション成分の補正を走査方向に直交する方向についてのみ行ったが、走査スリットの幅が大きくなった場合や、ステッパーに应用する場合には非球面の形状を

$$ga(x, y) = a(x^7 + 7x^6y) + b_1$$

$$gb(x, y) = a(x^7 + 7x^6y) + b_2 \quad \dots\dots (4e)$$

とする。初期状態においては非球面  $ga(x, y)$  は非球面  $gb(x, y)$  と凹凸が一致してキャンセルするため、光学素子61と62はトータルとして光学的パワーがゼロであり、平行平板としての働きをするに過ぎない。61と62の間の距離は小さいほどよく例えば100  $\mu\text{m}$  程度の値が典型的である。ここで素子61を  $\Delta$  だけ  $x$  方向に動かした場合を想定する。このときの影響は  $\Delta$  の高次の項の影響が小さいとして無視すると、

$$\dots\dots (5e)$$

※2次の項で表わされる諸特性、例えば倍率や、フォーカス位置を変えることができる。式が一方向なので変えることができるのはずらし方向の倍率や、フォーカス位置である。具体的には  $x$  方向と  $y$  方向の倍率差や、 $x$  方向と  $y$  方向パターンのフォーカス差、即ち非点収差が制御対象となる。どの収差がコントロールされるかは本発明の素子を挿入する位置によるのは先の実施形態で示したとおりである。

【0386】 $x$  方向の取り方は前述の通り、スキャナーの場合には走査スリットの方に平行であるか、直交する方向が好ましい。これはマスクのパターニングされた有効領域の長方形領域の辺に平行または直交する方向でもある。またずらし方も対応する2つの素子を光軸に対して互いに対称な移動量になるように動かしたり、一方を固定して、他方を動かす方法が適用できる。

【0387】スキャナーでは軸上でも露光光の吸収により経時的に変化しながら非点収差が発生する可能性があるため、 $n$  が3の場合の非点収差補正は本発明の素子の際立った特徴である。補正量はずらし量によって正にも負にも自由にコントロールすることができる。またずらし量が数値例で示したように5mm等大きな値であるため、設定公差が緩くメカニカルに特別に高精度な構造をとる必要がない。

【0388】別の応用例として  $n$  を2とすれば像面の傾きの補正もできる。

【0389】歪曲収差は本素子をレチクル近傍に挿入すると補正が容易である。 $n$  が4の場合には偏心による2次の歪曲収差、 $n$  が5の場合には3次の歪曲収差、 $n$  が6の場合には偏心等による4次の高次の歪曲収差、 $n$  が7の場合には5次の高次の歪曲収差が補正できる。

【0390】これらの収差を独立に制御するには、独立に制御する数だけ本発明の素子が必要である。また $n$ が奇数のときには形成される関数である $x^{n-1}$ が偶関数ではないため、ずらし効果が $x$ の正方向と負の方向で異なることに注意してずらし量を決めねばならない。

【0391】また公知の手段により、例えば倍率や3次の歪曲収差が制御できるのであれば、公知手段の及ばない成分の制御に本発明を適用させればよい。

【0392】一方本発明では別の形状 $q(x, y)$ として

$$q(x, y) = a(x^n + nxy^{n-1})$$

という形状が適している例も示した。形状が $q(x, y)$ の場合は $x$ 方向にずらして $x^{n-1} + y^{n-1}$ に基づく特性を持たすことができる。 $p(x, y)$ の場合に比べて $y$ も含んだ特性はステッパーや、スキャナーでスリット幅が大きく単純に $x$ の一方向補正のみでは不十分な場合に有効である。

【0393】 $x$ 方向の取り方は前述の通り、スキャナーの場合には走査スリットの方向に平行であるか、直交する方向が好ましい。これはマスクのパターニングされた有効領域の長方形領域の辺に平行または直交する方向でもある。またずらし方も前述した全ての実施例と同じく対応する2つの素子を光軸に対して互いに対称な移動量になるように動かしたり、一方を固定して、他方を動かす方法が適用できる。

【0394】 $n$ が3の場合に像面湾曲が補正できるというのは本発明の大きな特徴である。 $n$ を5とすれば高次の像面湾曲の補正も可能である。

【0395】別の応用例として $n$ を2とすれば像面の傾きの補正もできる。

【0396】歪曲収差は本素子をレチクル近傍に挿入すると補正が容易である。 $n$ が4の場合には偏心による2次の歪曲収差、 $n$ が5の場合には3次の歪曲収差、 $n$ が6の場合には偏心等による4次の高次の歪曲収差、 $n$ が7の場合には5次の高次の歪曲収差が補正できる。

【0397】これらの収差を独立に制御するためには、独立に制御する数だけ本発明の素子が必要である。また $n$ が奇数のときには形成される関数である $x^{n-1} + y^{n-1}$ が偶関数ではないため、ずらしの効果が $x$ の正方向と負の方向で異なることに注意してずらし量を決めねばならない。

【0398】次に上記説明した投影露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施例を説明する。

【0399】図30は半導体デバイス(ICやLSI等の半導体チップ、或は液晶パネルやCCD等)の製造のフローチャートである。

【0400】本実施例においてステップ1(回路設計)では半導体デバイスの回路設計を行なう。ステップ2(マスク製作)では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0401】一方、ステップ3(ウエハ製造)ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4(ウエハプロセス)は前工程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0402】次のステップ5(組立)は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。

【0403】ステップ6(検査)ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷(ステップ7)される。

【0404】図31は上記ステップ4のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。まずステップ11(酸化)ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12(CVD)ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0405】ステップ13(電極形成)ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14(イオン打ち込み)ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15(レジスト処理)ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16(露光)では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【0406】ステップ17(現像)では露光したウエハを現像する。ステップ18(エッチング)では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ19(レジスト剥離)ではエッチングがすんで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行なうことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0407】尚本実施例の製造方法を用いれば高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0408】

【発明の効果】本発明によれば以上のように、投影光学系が露光光を吸収したことによる光学性能の変化、例えば軸上非点収差、像面湾曲やウエハのプロセス要因等で起こるウエハ自身の非対称な倍率やディストーション等のうち少なくとも1つを適切に設定した形状の非球面を有する少なくとも2つの光学素子を有する光学手段を利用することによって、他の光学特性への影響を最小限に押えて補正し、高解像度のパターンが容易に得られる投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法を達成することができる。

【0409】又、微細パターンを焼き付ける対象であるウエハの各プロセスを得た後の伸縮の状態の補正の他に装置用のディストーションマッチングやレチクルの描画誤差の補正等も、適切に設定した形状の非球面を有する少なくとも2つの光学素子を有する光学手段を用い、互いに直交する $x$ 方向と $y$ 方向の倍率を独立に制御することによって可能とすると共に、該制御に伴って起こる

10

20

30

40

50

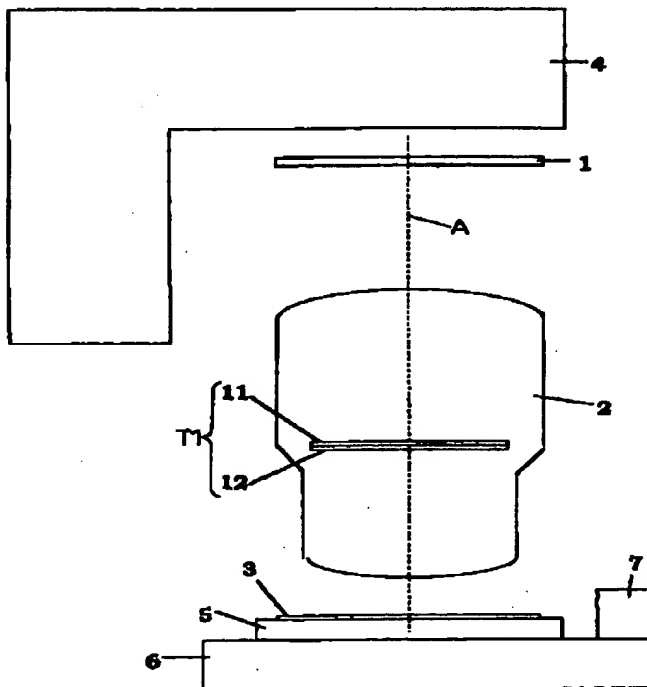
65

他の光学特性への影響を最小限に抑えた投影露光装置及びそれを有したデバイスの製造方法を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】本発明の実施形態1の要部概略図  
 【図2】図1の一部分の拡大説明図  
 【図3】図1の一部分の拡大説明図  
 【図4】図1の一部分の他の実施形態の説明図  
 【図5】図1の一部分の他の実施形態の説明図  
 【図6】図1の一部分の他の実施形態の説明図  
 【図7】本発明の実施形態2の要部概略図  
 【図8】本発明の実施形態3で用いる光学手段の説明図  
 【図9】本発明の実施形態4の要部概略図  
 【図10】図9の一部分の拡大説明図  
 【図11】図9の一部分の拡大説明図  
 【図12】図9の一部分の他の実施形態の説明図  
 【図13】図9の一部分の他の実施形態の説明図  
 【図14】図9の一部分の他の実施形態の説明図  
 【図15】本発明の実施形態5の要部概略図  
 【図16】本発明の実施形態6の要部概略図  
 【図17】図16の一部分の拡大説明図  
 【図18】図16の一部分の拡大説明図  
 【図19】図9の一部分の他の実施形態の説明図  
 【図20】図9の一部分の他の実施形態の説明図

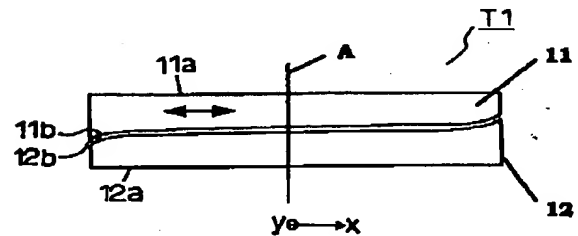
【図1】



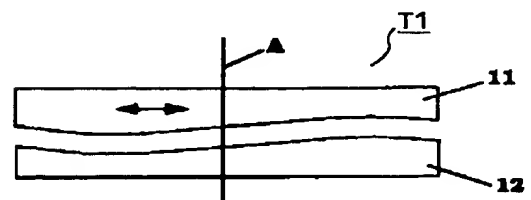
66

- 【図21】図9の一部分の他の実施形態の説明図  
 【図22】本発明の実施形態7の要部概略図  
 【図23】本発明の実施形態8の要部概略図  
 【図24】図23の一部分の拡大説明図  
 【図25】本発明の実施形態9の要部概略図  
 【図26】本発明の実施形態10の要部概略図  
 【図27】図26の一部分の拡大説明図  
 【図28】図26の一部分の拡大説明図  
 【図29】本発明の実施形態11の要部概略図  
 10 【図30】本発明の半導体デバイスの製造方法のフローチャート  
 【図31】本発明の半導体デバイスの製造方法のフローチャート  
 【符号の説明】  
 1 第1物体（レチクル）  
 2 投影光学系  
 3 第2物体（ウエハ）  
 4 露光照明系  
 5 ウエハーホルダー  
 20 6 ウエハステージ  
 7 干渉用ミラー  
 T1, T2, T3, T4, T5 光学手段  
 11, 12, 21, 22, 23, 31, 32, 41, 42, 51, 52, 61, 62 光学素子

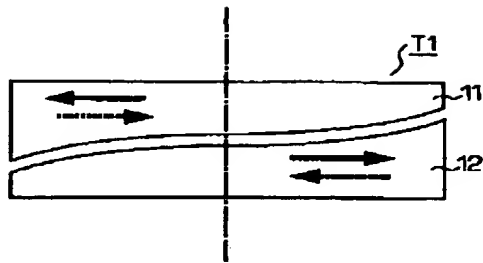
【図2】



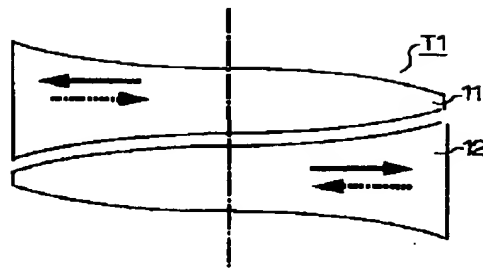
【図3】



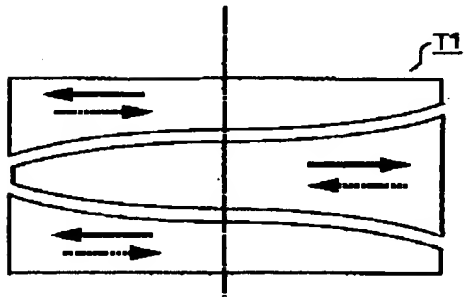
【図4】



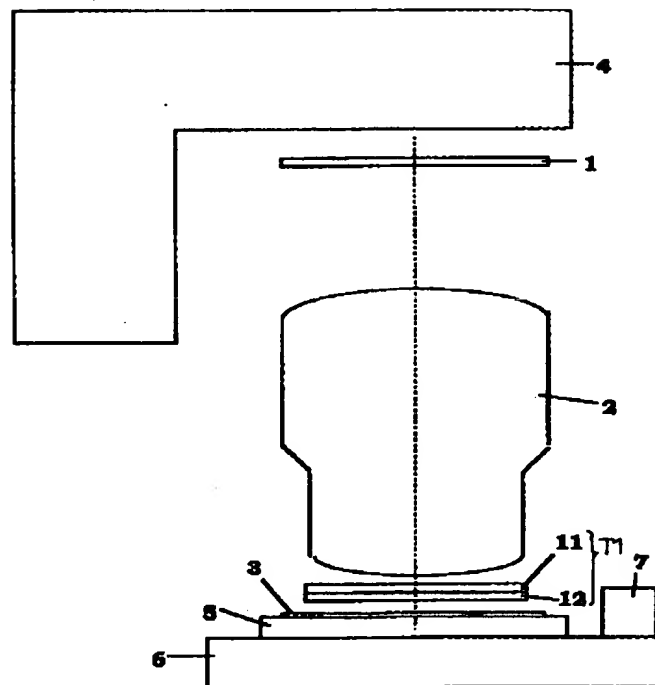
【図5】



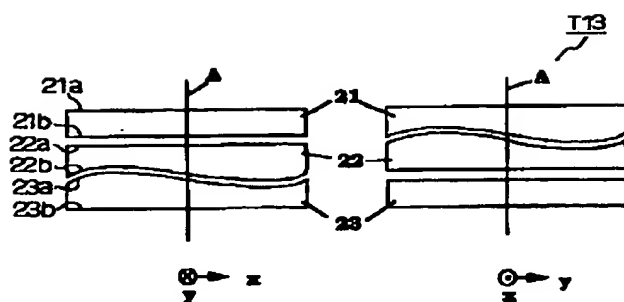
【図6】



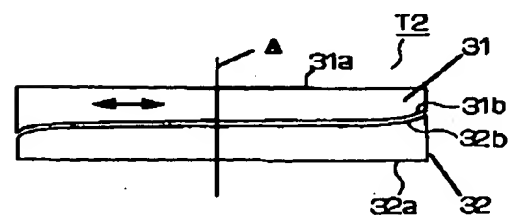
【図7】



【図8】

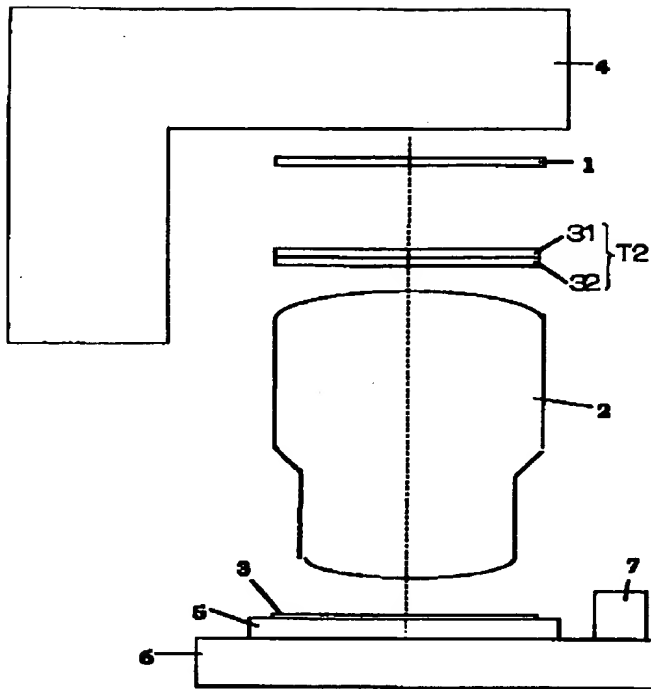


【図10】

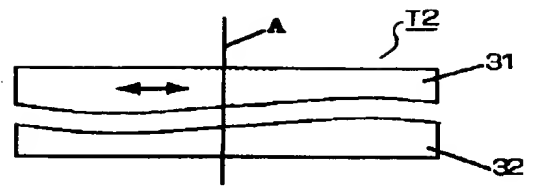




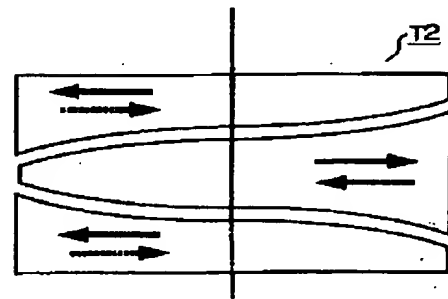
【図9】



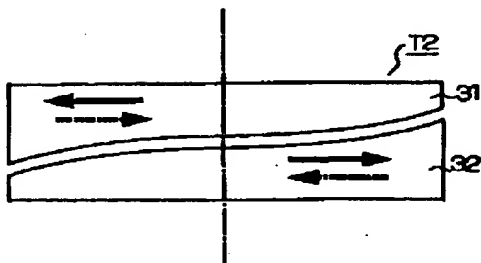
【図11】



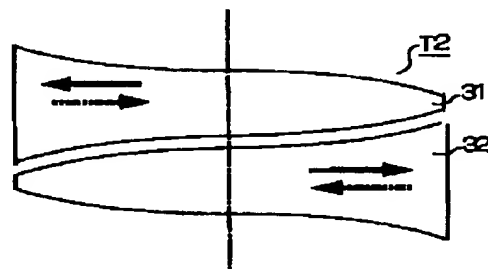
【図14】



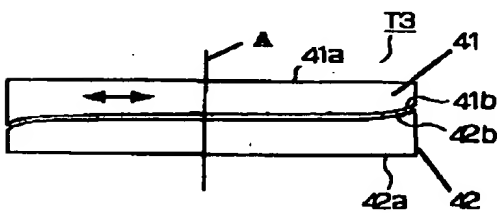
【図12】



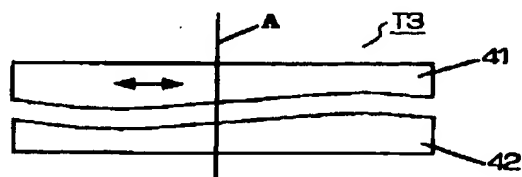
【図13】



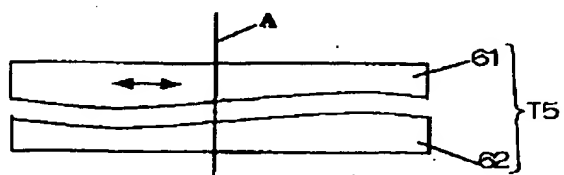
【図17】



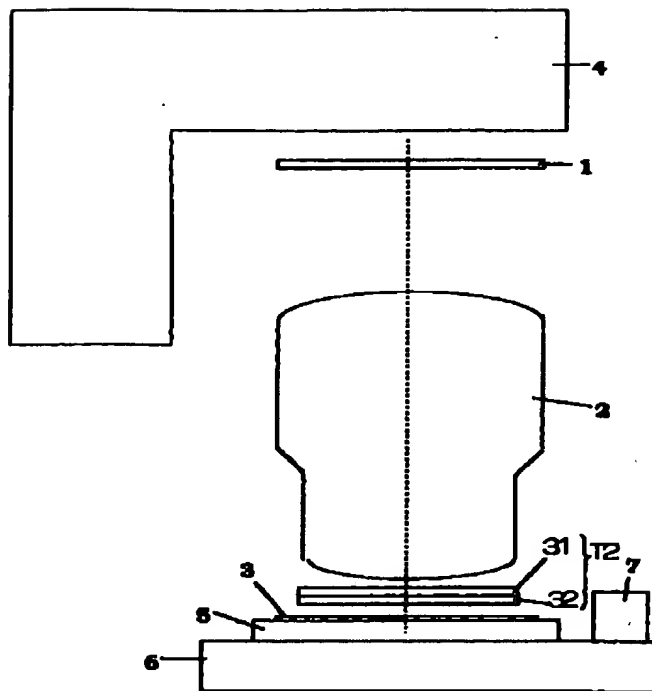
【図18】



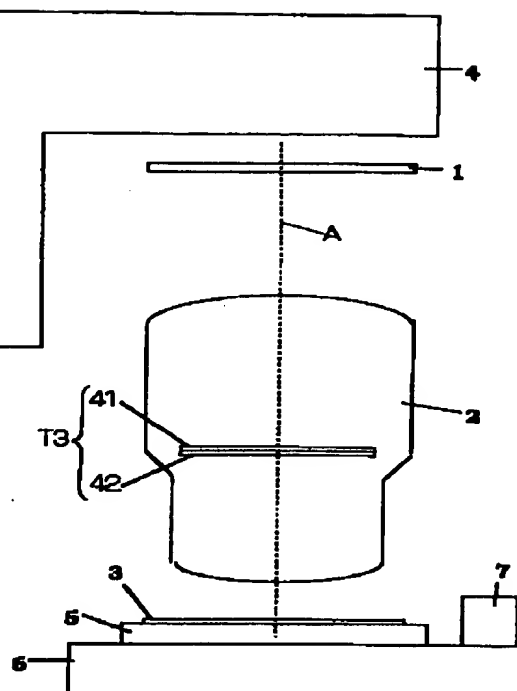
【図28】



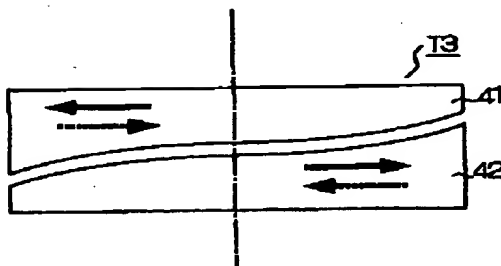
【図15】



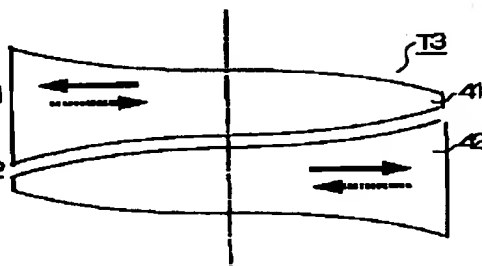
【図16】



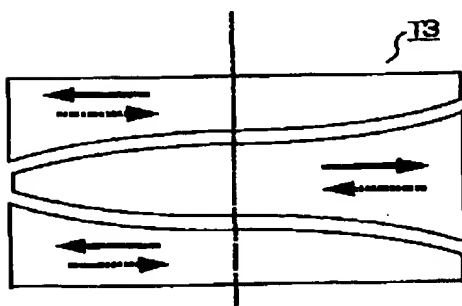
【図19】



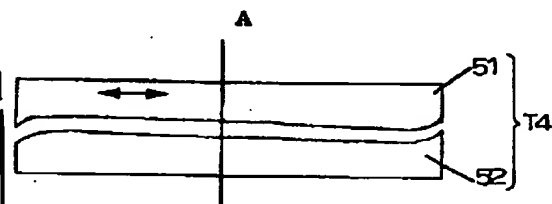
【図20】



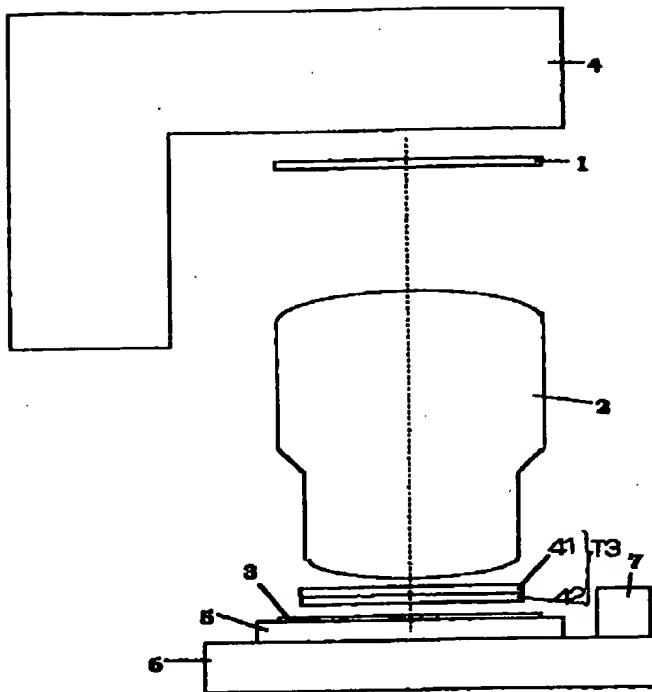
【図21】



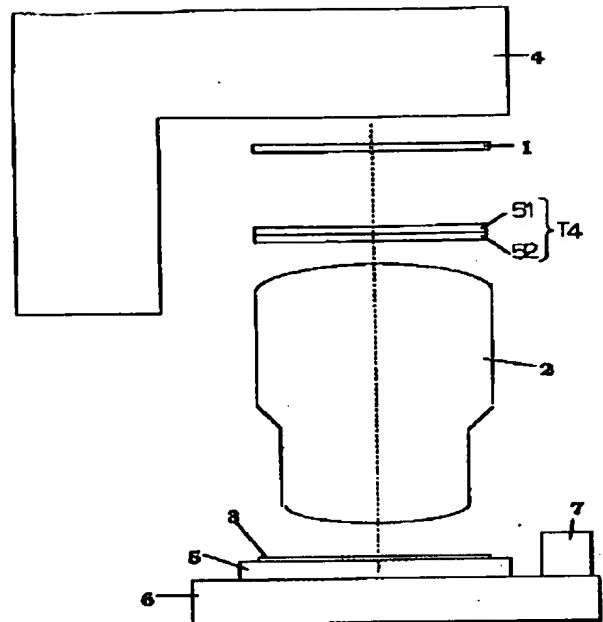
【図24】



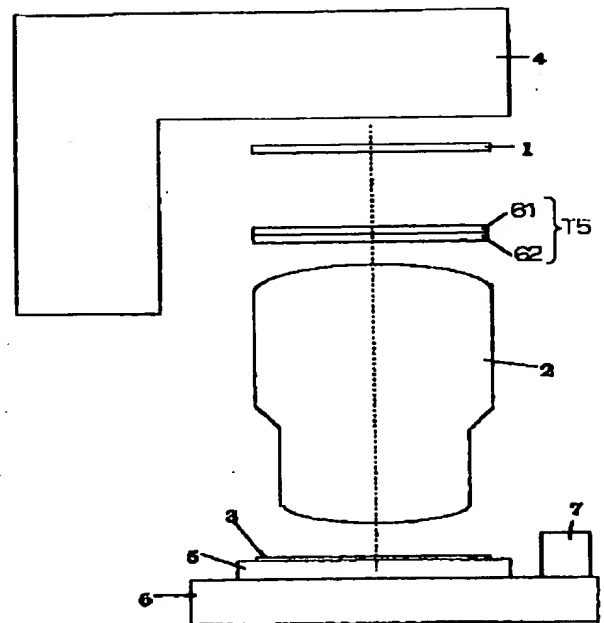
【図22】



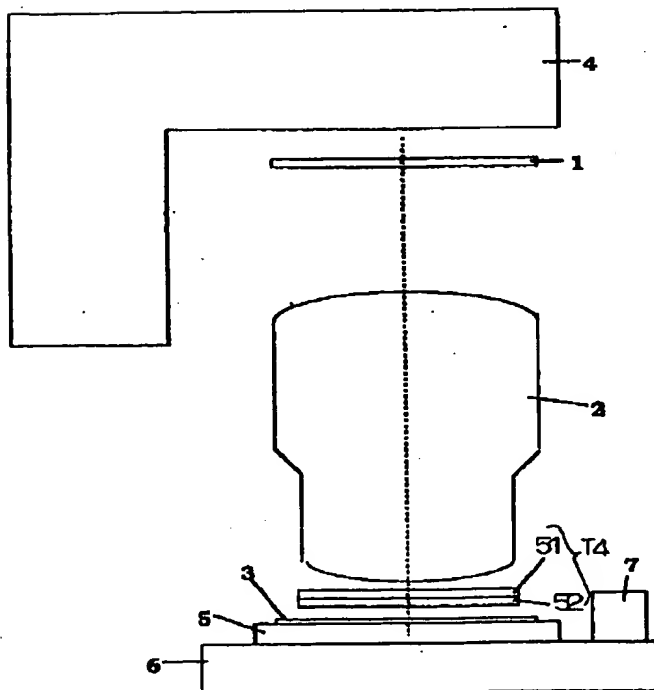
【図23】



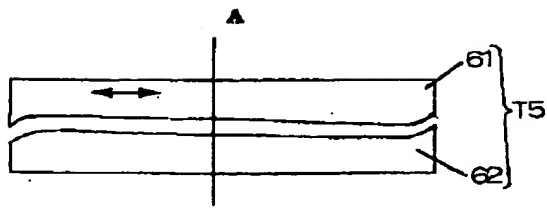
【図26】



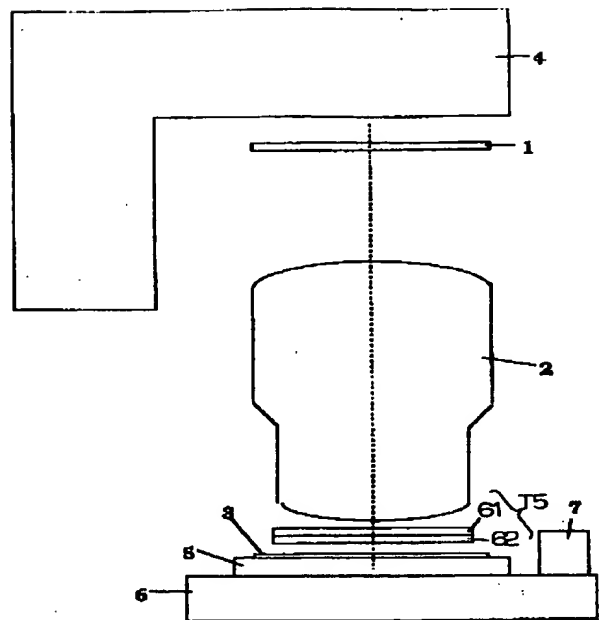
【図25】



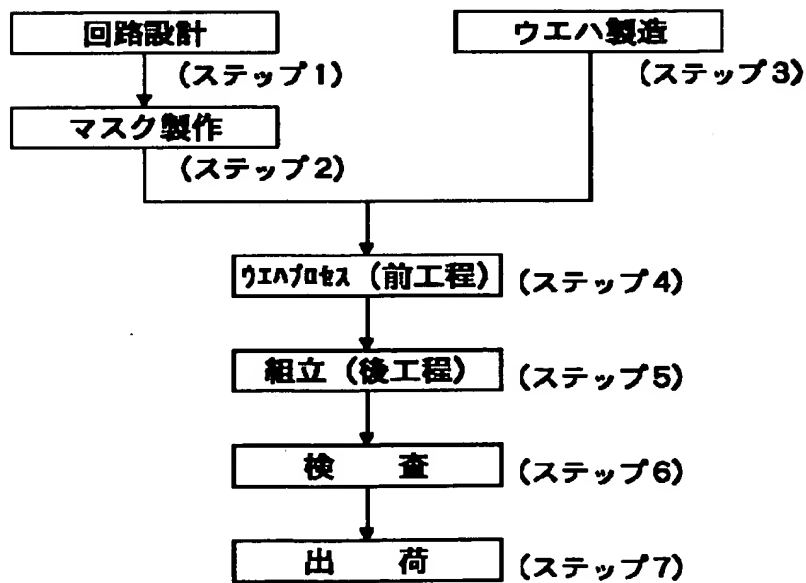
【図27】



【図29】



【図30】



【図3 1】

